



TUGAS AKHIR - MN 141581

**STUDI PENENTUAN SISA KETEBALAN MATERIAL DI
PERMUKAAN DALAM PIPA BAJA KARBON AKIBAT
KOROSI PADA SAMBUNGAN LAS DI KAPAL**

Fardan Nozami Ajitama

N.R.P. 4110 100 703

Dosen Pembimbing

Wing Hendroprasetyo A.P., S.T. M.Eng

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - MN 141581

**Study of Determination Remain Thickness of Material
on The Inner Surface of Carbon Steel Pipe Due to
Corrosion at Weld Tie on A Ship**

Fardan Nozami Ajitama

N.R.P. 4110 100 703

Supervisor

Wing Hendroprasetyo A.P., S.T. M.Eng

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING
ENGINEERING**

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016

This page is intentionally permitted blank

LEMBAR REVISI
STUDI PENENTUAN SISA KETEBALAN MATERIAL DI
PERMUKAAN DALAM PIPA BAJA KARBON AKIBAT
KOROSI PADA SAMBUNGAN LAS DI KAPAL

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir

Tanggal 23 Juni 2016

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal

Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fardan Nozami Ajitama

NRP. 4110100703

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
2. Ir. Asjhar Imron, M.Sc., MSE., PED.
3. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.
4. Sri Rejeki Wahyu P., S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng.

SURABAYA, 14 Juli 2016

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENENTUAN SISA KETEBALAN MATERIAL DI PERMUKAAN DALAM PIPA BAJA KARBON AKIBAT KOROSI PADA SAMBUNGAN LAS DI KAPAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fardan Nozami Ajitama
NRP. 4110100703

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, ST, M.Eng.
NIP. 1970 0615 1995 12 1001

SURABAYA, JULI 2016

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warohmatullah Wabarokatuh,

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas segala nikmat, karunia dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Muhammad SAW yang telah memberikan petunjuk jalan menuju kebenaran.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng, Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan M.Sc., Ph.D. selaku Ketua jurusan Teknik Perkapalan-FTK ITS.
3. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. Selaku Dosen wali sekaligus orang tua yang selalu membimbing dengan kharisma dan taat pada aturan yang ada.
4. Orang tua saya atas dukungan, doa dan semangat untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman CSS MoRA, CAPTAIN dan UKM Merpati Putih yang telah menemani saya saat galau mengerjakan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesai bukan berarti sempurna. Oleh karena itu, kritik maupun saran akan sangat penulis harapkan demi perbaikan atas penelitian ini.

Akhir kata, semoga penelitian ini bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum Warohmatullah Wabarokatuh.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI PENENTUAN SISA KETEBALAN MATERIAL DI PERMUKAAN DALAM PIPA BAJA KARBON AKIBAT KOROSI PADA SAMBUNGAN LAS DI KAPAL

Nama Mahasiswa : Fardan Nozami Ajitama
NRP : 4110100703
Jurusan/Fakultas : Teknik Perkapalan/Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Pipa baja merupakan salah satu komponen yang terdapat pada kapal. Pipa yang disambung dengan menggunakan pengelasan rentan terhadap korosi pada bagian dalamnya. Sisa ketebalan material pada sambungan las tersebut dapat diketahui dengan menggunakan pengujian ultrasonik. Penelitian ini membahas tentang studi penentuan sisa ketebalan material di permukaan dalam pipa baja karbon akibat korosi pada sambungan las di kapal.

Studi penentuan sisa ketebalan material pada permukaan bagian dalam pipa baja karbon bisa dilakukan melalui eksperimen pengujian ultrasonik dengan *probe normal dual crystal*. Dengan memodifikasi sepatu probe sesuai bentuk las-lasan sisa ketebalan material di permukaan dalam pipa baja karbon dapat diketahui. Penelitian ini menggunakan tiga variasi diameter pipa (48 mm, 96 mm dan 160 mm). Tiap-tiap spesimen dibuat cacat buatan dengan kedalaman 0.5 mm 1.5 mm dan 2.0 pada bagian *root*.

Berdasarkan percobaan yang dilakukan, penentuan sisa ketebalan material pada permukaan dalam pipa baja karbon dapat dilakukan dengan cara membuat sepatu probe modifikasi pada *ultrasonik flaw detector* probe normal kristal dua. Sisa ketebalan material pipa dapat diketahui dengan cara mengurangi ketebalan pipa dikurangi dengan kedalaman cacat korosi yang terdeteksi oleh alat *ultrasonik flaw detector*. Pada pengujian ultrasonik dengan arah bidang pemisah kristal *probe* yang tegak lurus dengan sumbu las mempunyai kemampuan pendeteksian kedalaman cacat yang lebih baik dibandingkan dengan arah bidang pemisah kristal probe yang searah dengan sumbu las. Hal ini dikarenakan gelombang ultrasonik memotong secara melintang pada cacat tersebut sehingga cacat tersebut mudah memantulkan kembali gelombang ultrasonik untuk diterima oleh *probe*.

Kata Kunci : *Ultrasonic test*, probe normal kristal dua, pipa baja karbon, modifikasi sepatu probe.

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDY OF DETERMINATION REMAIN THICKNESS OF MATERIAL ON THE INNER SURFACE OF CARBON STEEL PIPE DUE TO CORROSION AT WELD TIE ON A SHIP

Name of Student : Fardan Nozami Ajitama
NRP : 4110100703
Department/Faculty : Teknik Perkapalan/Teknologi Kelautan
Tutor : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Steel pipe is one of important components of a vessel. The pipes are usually joined using welding and therefore they are susceptible to corrosion, especially on the inside surface. The remain thickness of material at the weld tie can be determined by using ultrasonic testing. This research discusses how to determine the remain thickness of material on the inner surface of carbon steel pipe due to corrosion at welded tie on a ship.

Most studies regarding how to determine the thickness of residual material on the inner surface of carbon steel pipe are usually carried out using ultrasonic testing with dual crystal normal probes. Modifying the shape of the probe shoe should enable the detection of the remain thickness of material on the inner surface of the carbon steel pipe. This research uses three variations of pipe diameters (48 mm, 96 mm and 160 mm) where each specimen is made of artificial crack with a depth of 0.5 mm, 1.5 mm and 2.0 at the root.

Based on the experiments conducted, the determination of residual thickness of the material on the surface of the carbon steel pipe can be done by making modifications to the ultrasonic probe shoe flaw detector probe crystal normal two. The rest of the thickness of the pipe material can be determined by reducing the thickness of the pipe is reduced by the depth of corrosion defects are detected by ultrasonic flaw detector. In ultrasonic testing with the direction of crystal probe interface that is perpendicular to the axis of the weld has the ability to detect defects depth better than the direction of the interface the probe crystal axis direction of the weld. This is because the ultrasonic wave cut transversely at the flaw so that these defects easily reflect back ultrasonic waves to be received by the probe.

Keywords: Ultrasonic test, dual crystal normal probes, carbon steel pipe.

This page is intentionally permitted blank

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1. Latar Belakang Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.2. Perumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3. Batasan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.4. Tujuan	Error! Bookmark not defined.
1.5. Manfaat	Error! Bookmark not defined.
1.6. Hipotesis	Error! Bookmark not defined.
1.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1. Pengujian Ultrasonik	Error! Bookmark not defined.
2.2. Teori Dasar Gelombang Ultrasonik	Error! Bookmark not defined.
2.3. Sistem Pengujian Ultrasonik.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.1. <i>Through transmission</i>	Error! Bookmark not defined.
2.3.2. <i>Pulse Echo</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4. <i>Transducer</i>	Error! Bookmark not defined.
2.5. <i>Couplant</i>	Error! Bookmark not defined.
2.6. Blok Kalibrasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.7. Diskontinuitas	Error! Bookmark not defined.
2.8. Definisi Korosi.....	Error! Bookmark not defined.
2.9. Jenis-Jenis Korosi	Error! Bookmark not defined.
2.9.1. <i>Korosi seragam (Uniform or general attack corrosion).</i> .	Error! Bookmark not defined.
2.9.2. <i>Korosi Galvanik</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.3. <i>Korosi Celah (crevice corrosion).</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.4. <i>Korosi sumuran (pitting corrosion).</i>	Error! Bookmark not defined.

2.9.5.	<i>Korosi Batas Butir (intergranular corrosion).</i>	... Error! Bookmark not defined.
2.9.6.	<i>Selective leaching</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.7.	<i>Korosi Erosi (Erosion Corrothion).</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.8.	<i>Stress Corrosion Cracking</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.9.	<i>Proses Terjadinya Korosi</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.10.	<i>Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.11.	<i>Persamaan Laju Korosi</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.12.	<i>Sel Tiga Elektroda</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.13.	<i>Komponen Sel Tiga Elektroda</i>	Error! Bookmark not defined.
2.9.14.	<i>Larutan Pengkorsif HCl</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		Error! Bookmark not defined.
3.1.	Pengadaan Material	Error! Bookmark not defined.
3.2.	Proses Pemotongan	Error! Bookmark not defined.
3.3.	Proses Pengelasan	Error! Bookmark not defined.
3.4.	Proses Penghalusan	Error! Bookmark not defined.
3.5.	Pembuatan Cacat Buatan.....	Error! Bookmark not defined.
3.6.	Pembuatan sepatu probe.....	Error! Bookmark not defined.
3.7.	Peralatan	Error! Bookmark not defined.
3.7.1.	<i>Ultrasonic Flaw Detector</i>	Error! Bookmark not defined.
3.7.2.	<i>Couplant</i>	Error! Bookmark not defined.
3.7.3.	<i>Probe</i>	Error! Bookmark not defined.
3.7.4.	<i>Blok Kalibrasi VI</i>	Error! Bookmark not defined.
3.8.	Proses Pemeriksaan	Error! Bookmark not defined.
3.8.1.	<i>Kalibrasi Peralatan</i>	Error! Bookmark not defined.
3.8.2.	<i>Menentukan Kedalaman Cacat</i>	Error! Bookmark not defined.
3.8.3.	<i>Menentukan Sisa Ketebalan Material</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
4.1.	Pengujian Ultrasonik dengan Arah Bidang Pemisah Kristal Probe yang Searah dengan Sumbu Las.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.	Analisis Kemampuan Pembacaan <i>Ultrasonic Flaw Detector</i> dengan Arah Bidang Pemisah Kristal <i>Probe</i> yang Searah dengan Sumbu Las	Error! Bookmark not defined.

4.3.	Pengujian Ultrasonik dengan Arah Bidang Pemisah Kristal Probe yang Tegak Lurus dengan Sumbu Las.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.	Analisis Kemampuan Pembacaan <i>Ultrasonic Flaw Detector</i> dengan Arah Bidang Pemisah Kristal <i>Probe</i> yang Searah dengan Sumbu Las.....	Error! Bookmark not defined.
4.5.	Analisis Kemampuan Pembacaan <i>Ultrasonic Flaw Detector</i> dengan Arah Bidang Pemisah Kristal <i>Probe</i> yang Searah dengan Sumbu Las dan Arah Bidang Pemisah Kristal <i>Probe</i> yang Tegak Lurus dengan Sumbu Las ...	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		1
5.1.	Kesimpulan	2
5.2.	Saran	2
DAFTAR PUSTAKA.....		3
Lampiran		

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Ilustrasi Perambatan Gelombang.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2. Getaran mekanis pada <i>transducer</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3. Gelombang datang pada sudut normal yaitu 90°	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 4. Sudut pantul selalu sama dengan sudut datang.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 5. Sistem Through Transmission.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 6. Sistem through dengan banyak posisi.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7. Dead Zone.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 8. Sumbu x-axis, y-axis, z-axis.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 9. Probe dengan <i>double crystal</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 10. Hasil pada layar untuk penggunaan <i>transducer</i> pada bidang miring.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 11. Blok kalibrasi V1.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 12. Kalibrasi exit point dan jarak.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 13. Kalibrasi sudut.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 14. Kalibrasi resolusi.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 15. Blok Kalibrasi V2.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 16. Leg pada probe sudut.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 17. Pengujian ultrasonik menggunakan probe sudut.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 18. Proses pengujian dengan cara memaju-mundurkan <i>transducer</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 19. Semakin tebal pelat maka semakin besar jarak skip.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 20. Retak kawah.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 21. Retak tegang.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 22. Porositas.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 23. Inklus tungsten.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 24. Kurang penembusan.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 25. Pembacaan <i>slag inclusion</i> pada layar.	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 26. Pengujian Sel tiga elektroda.	Error! Bookmark not defined.

- Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 2. Material pipa baja karbon yang digunakan untuk penelitian. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 3. Proses pemotongan material pipa baja karbon. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 4. Hasil pengelasan SMAW pada material pipa baja karbon.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 5. Material pipa baja karbon setelah dilakukan proses penghalusan..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 6. Probe dengan sepatu yang dimodifikasi**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 7. *Ultrasonic Flaw Detector* SIUI CTS-9005**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 8. *bearing grease***Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 9. Blok kalibrasi V1.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 1. Ilustrasi *scanning* ultrasonik dengan arah bidang pemisah kristal *probe* yang searah dengan sumbu las**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 2. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 3. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 4. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 5. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 6. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 7. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 8. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 9. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 10. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm. **Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4. 11. Ilustrasi *scanning* ultrasonik dengan arah bidang pemisah kristal *probe* yang tegak lurus dengan sumbu las **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 12. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 13. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 14. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 15. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 16. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 17. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 18. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 19. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 20. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm.....**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

- Tabel 4. 1. Hasil pengujian ultrasonik dengan arah bidang pemisah kristal searah dengan sumbu las. **Error! Bookmark not defined.**
- Tabel 4. 2. Hasil pengujian ultrasonik dengan arah kristal tegak lurus dengan arah las. **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 3. Perbandingan kemampuan pembacaan UT.**Error! Bookmark not defined.**

Halaman ini sengaja dikosongkan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pipa baja merupakan salah satu komponen yang terdapat pada kapal. Pipa pada kapal digunakan untuk menyalurkan bahan bakar dari tangki menuju ke mesin, untuk mendistribusikan air tawar dan untuk sistem bongkar muat. Dalam proses operasional aliran fluida tersebut menyebabkan korosi pada permukaan pipa bagian dalam. Korosi tersebut biasanya terdapat pada sambungan las dan untuk mengetahui sisa ketebalan material di permukaan dalam pipa baja karbon akibat korosi pada sambungan las tersebut dapat digunakan dengan salah satu pengujian tak merusak yaitu pengujian ultrasonik.

Pada pengujian ultrasonik menggunakan probe sudut cacat korosi pada permukaan dalam pipa baja karbon tidak dapat terdeteksi dikarenakan cacat korosi bukanlah cacat yang berbentuk vertikal sehingga gelombang ultrasonik dari probe sudut tidak dapat dipantulkan kembali. Jika menggunakan probe normal cacat korosi pada permukaan pipa baja karbon tidak dapat terdeteksi karena probe akan terhalang oleh kampuh las pada saat pendeteksian cacat korosi yang terdapat di samping *root weld* pada permukaan pipa bagian dalam. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan modifikasi sepatu probe sesuai bentuk kampuh las pada probe normal kristal dua untuk meneliti studi penentuan sisa ketebalan material di permukaan dalam pipa baja karbon akibat korosi pada sambungan las di kapal.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan data yang didapat maka permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana menentukan sisa ketebalan material pada permukaan dalam pipa baja karbon akibat korosi pada sambungan las di kapal?
2. Bagaimana pengaruh variasi arah bidang pemisah kristal probe terhadap sensitivitas pembacaan panjang retak?

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah agar proses penulisan lebih terarah adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan *dual crystal normal probe*.
2. Diameter *probe* 10 mm dan 14 mm.
3. Frekuensi *probe* 4 Mhz.
4. *Base metal* adalah pipa baja karbon.
5. Diameter pipa baja 48 mm, 128 mm dan 160 mm.
6. Ketebalan pipa baja karbon 2.5 mm, 9.6 mm dan 10.6 mm.
7. Pembuatan cacat pada tiap benda uji dengan menggunakan gerinda dengan kedalaman 0.5 mm, 1.5 mm dan 2.0 mm.
8. Modifikasi sepatu *probe* sesuai bentuk las-lasan.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan penulisan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kemampuan probe normal dual crystal dengan sepatu modifikasi dalam mendeteksi cacat pada permukaan dalam pipa baja.
2. Mengetahui pengaruh variasi arah bidang pemisah kristal *probe* terhadap sensitivitas pembacaan kedalaman cacat

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini, diharapkan dapat memberikan informasi tentang studi penentuan sisa ketebalan material di permukaan dalam pipa baja karbon akibat korosi pada sambungan las di kapal.

1.6. Hipotesis

Dengan memodifikasi sepatu probe seperti bentuk las maka sisa ketebalan material di permukaan dalam pipa baja karbon dapat diketahui.

1.7. Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut :

KATA PENGANTAR

ABSTRAK

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, hipotesis dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian. Adapun isi dari bab ini adalah penjelasan tentang pengujian ultrasonik, teori dasar gelombang ultrasonik, sistem pengujian ultrasonik, *transducer*, *couplant*, blok kalibrasi, diskontinuitas, definisi korosi dan jenis-jenis korosi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi langkah-langkah selama pengerjaan Tugas Akhir hingga penyusunan laporan Tugas Akhir. Pada bab ini berisi tentang pengadaan material pipa baja karbon, proses pemotongan material, proses pengelasan, proses penghalusan, proses pembuatan cacat buatan, proses pembuatan sepatu probe, peralatan yang digunakan, proses pemeriksaan cacat dan proses penentuan sisa ketebalan material pipa baja karbon.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisis teknis data penelitian dan pembahasan hasil analisa.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjabarkan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengujian Ultrasonik

Alat ultrasonik digunakan untuk *non destructive test* (NDT). Alat ini menggunakan prinsip-prinsip perambatan suara untuk mendeteksi, menemukan dan mengevaluasi cacat seperti retak, porositas, korosi dan inklusi asing yang ditemukan dalam material uji. Selain itu juga digunakan untuk pengukuran ketebalan material dan untuk mengetahui lokasi cacat. [Berke, 1990]

Untuk menemukan indikasi diskontinuitas di dalam material, peralatan yang sering digunakan adalah *ultrasonic flaw detector* dan *test instrument*. Peralatan ultrasonik yang menggunakan teknik *pulse echo* merupakan peralatan ultrasonik yang sering digunakan. Teknik *pulse echo* yaitu dengan membangkitkan pulsa listrik tegangan tinggi berdurasi singkat yang diaplikasikan pada *transducer* yang mengubahnya menjadi getaran mekanis yang dirambatkan. Persentase terbesar gelombang suara dipantulkan kembali dari permukaan bagian depan benda uji ke *transducer*. Sisanya dipantulkan oleh permukaan bagian belakang benda uji atau diskontinuitas. [Berke, 1990]

Gelombang suara yang diterima kembali oleh *transducer* akan diubah menjadi pulsa-pulsa listrik yang dapat diperkuat dan ditampilkan pada layar *liquid crystal display (LCD)* sebagai pulsa-pulsa *vertical* yang menunjukkan kedalaman dan amplitudo gelombang suara yang dipantulkan dari sebuah diskontinuitas. Tampilan pada layar *LCD Ultrasonic Flaw Detector* pada pengujian ultrasonik dikenal sebagai Scan-A. [Berke, 1990]

Dengan pengujian ultrasonik, maka *internal discontinuitas* dapat terdeteksi dengan akses dari satu spesimen saja. Tujuan dari pengujian ultrasonik adalah untuk menjamin keandalan dari produk dengan cara :

- Memperoleh informasi dari diskontinuitas.
- Menyatakan sifat diskontinuitas tanpa merusak bagian yang diperiksa.
- Memisahkan material yang diterima dan ditolak sesuai dengan *standard* yang dipakai. [Berke, 1990]

2.2. Teori Dasar Gelombang Ultrasonik

Ultrasonik adalah suara atau getaran dengan frekuensi yang sangat tinggi yaitu di atas 20 KHz. Beberapa hewan seperti lumba-lumba menggunakan gelombang ultrasonik untuk berkomunikasi, sedangkan kelelawar menggunakan gelombang ultrasonik untuk navigasi. Gelombang ultrasonik dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas. Reflektivitas dari gelombang ultrasonik di permukaan cair hampir sama dengan permukaan padat, tetapi pada tekstil dan busa gelombang ini akan terserap. [Smilie, 1995]

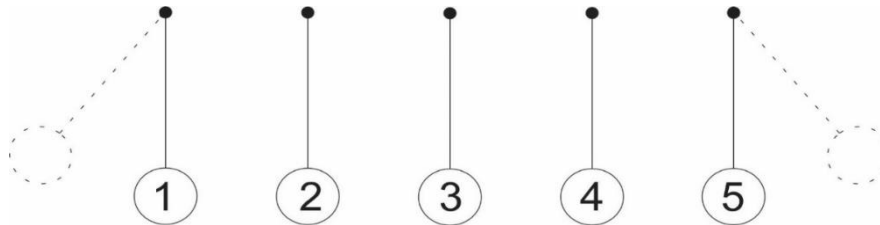
Gelombang ultrasonik pada aplikasi elektronik dihasilkan oleh getaran elastis dari sebuah kristal kuarsa yang diinduksikan oleh resonansi dengan suatu medan listrik bolak balik yang dipakaikan (*efek piezoelektrik*). Kadang gelombang ultrasonik menjadi tidak periodik yang disebut derau (*noise*). Kelebihan gelombang ultrasonik adalah bersifat langsung dan mudah difokuskan serta dengan memanfaatkan *delay* gelombang pantul dan gelombang datang akan didapatkan jarak seperti pada sistem radar dan deteksi oleh sensor robot atau hewan. [Smilie, 1995]

Pada dasarnya dalam pengujian ultrasonik adalah dengan memasukkan getaran ultrasonik ke dalam spesimen. Kemudian getaran tersebut diubah dengan beberapa cara oleh spesimen. Hasil perubahan tersebut dideteksi oleh sistem pengujian dan melalui sebuah indikasi akan diperoleh informasi mengenai spesimen. Pekerjaan seorang inspektor adalah mengaplikasikan sistem ke dalam spesimen dan menginterpretasikan hasilnya melalui indikasi yang diperoleh. [Smilie, 1995]

Dalam pengujian ultrasonik menggunakan sesuatu yang dinamakan “Getaran Ultrasonik”. Sifat dari getaran ultrasonik tersebut adalah sebagai berikut :

- Getaran adalah gerakan maju mundur.
- Getaran adalah energi yang bergerak.

Penekanan pada sebuah permukaan dari posisi normalnya dinamakan perpindahan. Getaran merambat di dalam benda padat sebagai sebuah perpindahan partikel yang saling berurutan. Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut :



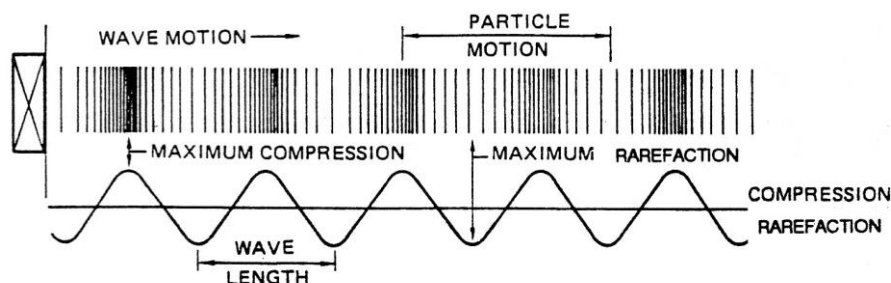
Gambar 2. 1. Ilustrasi Perambatan Gelombang.

Sumber : Berke, 1990

Ketika memindahkan partikel satu ke kiri dan melepaskannya, energi yang diberikan kepada partikel satu akan dirambatkan melalui partikel dua hingga empat dan akhirnya mempengaruhi partikel lima. Partikel lima akan bergerak karena pengaruh energi tersebut dan akan membalik gerakannya sehingga energi tersebut kembali menuju ke partikel satu. [Berke, 1990]

Struktur sebuah material sebenarnya terdiri dari banyak partikel kecil atau sekelompok atom. Partikel-partikel tersebut memiliki posisi normal dan berpindah tempat akibat pengaruh dari suatu gaya. Apabila gaya tersebut dihilangkan maka partikel akan kembali ke posisi normal. Energi dirambatkan dalam benda padat melalui serangkaian perpindahan partikel di dalam material. Perambatan getaran ultrasonik di dalam sebuah material berhubungan dengan sifat elastis dari material tersebut. [Berke, 1990]

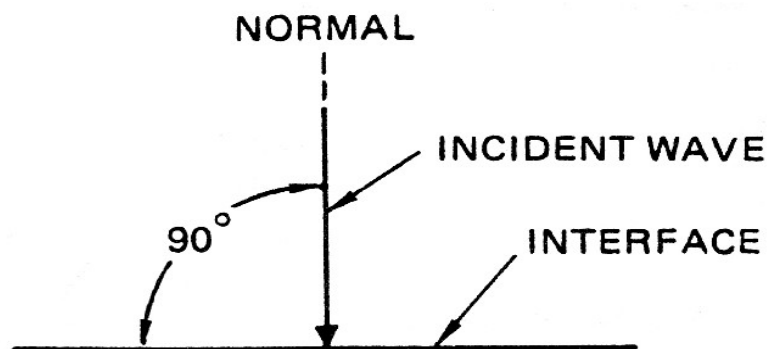
Cepat rambat didefinisikan sebagai jarak perambatan gelombang di dalam sebuah media dalam satu satuan waktu, biasanya detik. Kecepatan gelombang akan konstan di dalam sebuah media.



Gambar 2. 2. Getaran mekanis pada *transducer*.

Sumber : Hendropresetyo, 2013

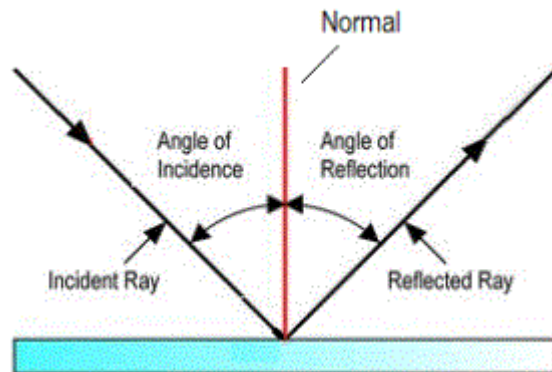
Gambar di atas memperlihatkan getaran mekanis yang sedang dipancarkan dari sebuah *transducer* melalui sebuah media padat. Pada saat kristal *piezoelectric* bergerak ke depan (ke arah material), material akan termampatkan. Pemampatan ini merambat di dalam material. Kristal kemudian mengendur dan terbentuk *rarefaction* yang mengikuti pemampatan di dalam material lalu terbentuklah satu gelombang. Arah gerakan partikel di dalam media adalah maju-mundur dan sejajar dengan arah perambatan gelombang. Gelombang ultrasonik akan dipantulkan apabila mereka menemui sebuah media dengan impedansi akustik yang berbeda. Permukaan dimana pemantulan terjadi disebut *interface*. Sebuah *interface* adalah perbatasan antara dua material atau fase, seperti aluminium dengan baja, atau air dengan baja. Berkas energi yang mendekati sebuah *interface* disebut sebagai “gelombang datang”. Sudut dimana gelombang mengenai *interface* dinamakan “sudut datang”. Gelombang datang dikatakan memiliki sudut normal apabila arah perambatannya tegak lurus terhadap *interface*. Seperti diperlihatkan di bawah, sudut datang besarnya nol.



Gambar 2. 3. Gelombang datang pada sudut normal yaitu 90° .
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Sebagian energi gelombang yang mengenai *interface* akan diteruskan melalui *interface*, dan sebagian akan dipantulkan sebesar sudut datang. Jumlah pemantulan tergantung pada perbandingan impedansi akustik antara kedua media yang terlibat.

Sudut pantul pada sebuah *interface* atau perbatasan selalu sama dengan sudut datangnya seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 4. Sudut pantul selalu sama dengan sudut datang.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Getaran ultrasonik merambat dalam beberapa mode, dan yang paling umum adalah:

1. Longitudinal (*kompresi*)
2. Transversal (*geser*)
3. Permukaan (Rayleigh)
4. Pelat (Lamb)

Tiap mode gelombang memiliki fungsi khusus dalam pemeriksaan ultrasonik dan sangatlah penting untuk dimengerti secara menyeluruh. Cepat rambat gelombang ditentukan oleh modulus elastisitas material dan kerapatannya. Persamaan untuk gelombang longitudinal dan transversal diberikan di bawah ini:

1. Gelombang Longitudinal (Kompresi) memiliki getaran partikel maju-mundur yang searah dengan perambatannya. Material terbuat dari atom-atom yang tersusun dalam garis lurus yang membentuk struktur kisi ruang dan pada saat mengenai sisi kisi ruang, terjadilah pergerakan partikel secara berantai yang mengakibatkan terbentuknya gelombang longitudinal.
2. Gelombang Transversal (Geser) memiliki getaran partikel yang tegak lurus terhadap arah perambatan gelombang. Gelombang transversal tidak dapat merambat melalui zat cair atau gas. Pada beberapa material, cepat rambat gelombang transversal besarnya $\frac{1}{2}$ gelombang longitudinal. Oleh karena itu, panjang gelombangnya lebih pendek ($\frac{1}{2}$ -nya), memungkinkan deteksi diskontinuitas yang berukuran lebih kecil. Perubahan mode berlangsung saat

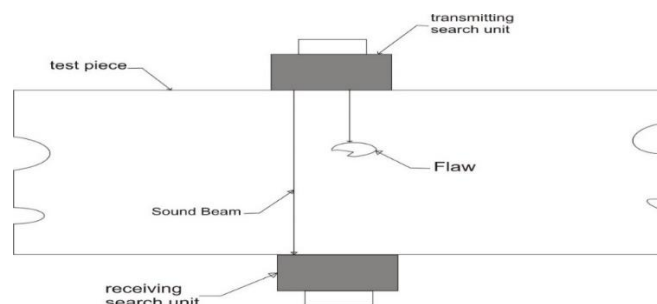
berkas suara mengenai *interface* antara dua media yang berbeda pada sudut selain 90 derajat. Perubahan mode pada kasus di bawah ini menghasilkan dua berkas gelombang pantul. Berkas pertama adalah gelombang longitudinal. Berkas yang lain adalah transversal. Probe sudut yang dipakai pada pengujian ultrasonik menggunakan contoh sebagai berikut. Gelombang “bias” transversal bermanfaat dalam banyak teknik pemeriksaan. Sudut bias adalah sudut yang terbentuk antara berkas yang dibiaskan saat memasuki media kedua dan garis yang tegak lurus terhadap *interface*. [Hendroprasetyo, 2013]

2.3. Sistem Pengujian Ultrasonik

Dalam pengujian ultrasonik terdapat dua metode yang umum digunakan untuk mendeteksi cacat atau untuk mengetahui ketebalan suatu material, yaitu :

2.3.1. *Through transmission*

Pada sistem *through transmission* diperlukan dua *probe* yang satu berfungsi sebagai pemancar gelombang ultrasonik (*transmitter*) sedangkan satunya berfungsi sebagai penerima gelombang pantul (*receiver*). Gelombang ultrasonik yang dipancarkan ke dalam material dapat berupa pulsa pendek (*short pulse*) maupun gelombang kontinu (*continues wave*). Pemeriksaan kualitas material diukur dari banyaknya energi yang hilang selama merambat di dalam material. *Through transmission* sering juga dinamakan dengan *pitch-catch method*. Sistem pengujian ini mungkin dibutuhkan pada material yang memiliki atenuasi yang tinggi seperti *polymers*, *composite*, beton maupun kayu. Sistem pengujian ini juga digunakan bila cacat mempunyai permukaan kasar maupun cacat sukar didapatkan dengan menggunakan sistem lainnya.



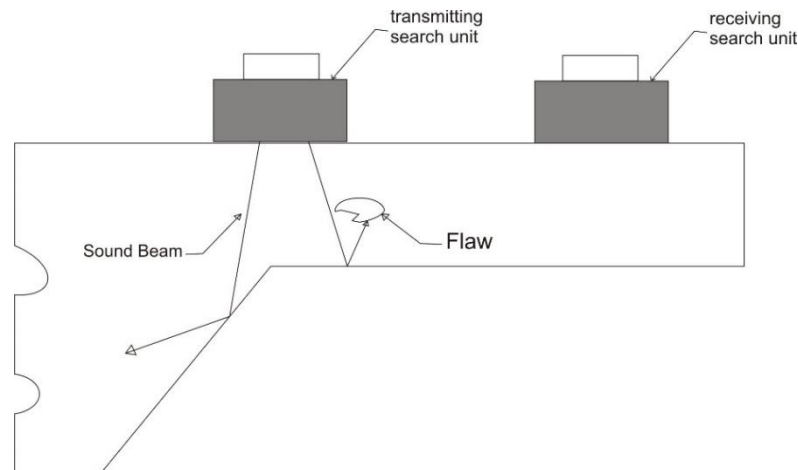
Gambar 2. 5. Sistem Through Transmission.
Sumber : Hellier, 2003

Through transmission memiliki jarak rambat satu setengah lebih pendek bila dibandingkan dengan *pulse echo technique*. Teknik ini juga memungkinkan untuk memancarkan gelombang di satu posisi dan menerimanya pada beberapa posisi lainnya. [Hellier, 2003]

Sistem *through transmission* memiliki keuntungan antara lain :

- Sistem ini memiliki kemampuan yang lebih baik untuk mendeteksi cacat yang letaknya dekat dengan permukaan.
- Mampu menguji material dengan ketebalan yang lebih besar dibandingkan dengan system gelombang pantul.

Namun sistem *through transmission* tidak dapat melihat adanya diskontinuitas di dalam material karena sistem ini hanya bisa menunjukkan adanya kehilangan energi suara. [Hellier, 2003]



Gambar 2. 6. Sistem through dengan banyak posisi.
Sumber : Hellier, 2003

Sistem *through transmission* ini juga dapat diaplikasikan dengan menggunakan *probe* sudut kembar. Sistem *probe* ini sama dengan menggunakan *probe normal*. Salah satu *probe* berfungsi sebagai pemancar sedangkan yang lainnya berfungsi sebagai penerima. *Probe* sudut kembar dalam sistem *through transmission* merupakan alat yang sangat berguna dalam pengujian. *Probe* tersebut dapat digunakan untuk memeriksa material yang mempunyai bentuk kompleks, permukaan material dan untuk mendeteksi cacat yang terletak di dekat permukaan material yang tidak dapat dideteksi dengan *probe* lainnya. Keuntungan lainnya adalah *dead zone* yang terjadi di dekat *probe* dapat dihilangkan. [Hellier, 2003]

2.3.2. *Pulse Echo*

Pulse echo adalah sistem ultrasonik yang paling banyak digunakan. Pulsa-pulsa gelombang ultrasonik putus-putus berdurasi singkat secara teratur dirambatkan ke dalam material yang diuji. Pulsa-pulsa ini dipantulkan kembali oleh diskontinuitas sepanjang lintasannya, atau oleh perbatasan yang mereka temui. Pantulan yang diterima kemudian ditampilkan pada layar. *Transducer* yang sama dapat dipakai untuk memancarkan dan menerima gelombang. Teknik ini menyatakan diskontinuitas yang ada di dalam material dengan menunjukkan variasi amplitudo energi yang diterima.

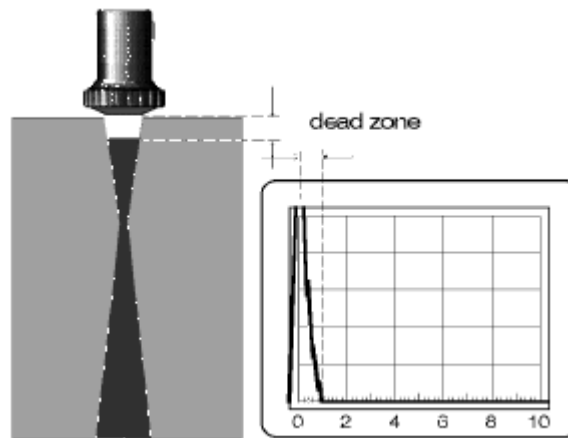
Untuk pengaturan sensitivitas (*gain*) tertentu, amplitudo dari garis vertikal ditentukan oleh kekuatan sinyal yang dihasilkan oleh gelombang suara pantul. Umumnya, makin besar ukuran diskontinuitas, makin banyak gelombang suara yang dipantulkan. Oleh karena itu, layar menampilkan dua macam informasi yaitu :

1. Jarak (waktu) antara diskontinuitas dengan *transducer*.
2. Besaran / ukuran relatif dari energi yang dipantulkan.

Pengaturan sensitivitas atau *gain* menentukan besarnya penguatan sinyal yang diterima dari diskontinuitas. Menambah sensitivitas (*gain*) akan menaikkan ketinggian amplitudo garis vertikal pada layar. Pulsa awal bisa menutupi gelombang pantul dari sebuah diskontinuitas yang letaknya di dekat permukaan uji tepat di bawah *transducer*. Pada saat *transducer* memancarkan pulsa, kristal *piezoelectric*-nya bergetar dalam jangka waktu tertentu dan tidak dapat menerima pantulan hingga kristal tersebut berhenti bergetar (fungsinya sebagai pemancar terpenuhi).

Jangka waktu dimana kristal masih bergetar menimbulkan “*dead zone*” pada permukaan depan material dimana diskontinuitas tidak akan terdeteksi. Besar *dead zone* setara dengan waktu getarnya dan ditunjukkan pada layar melalui lebar bagian dasar dari indikasi pulsa awal.

Berikut ini adalah gambar ilustrasi hasil pendeteksian ultrasonic flaw detector menggunakan probe normal :



Gambar 2. 7. Dead Zone.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Dua pengaturan, *sweep length* dan *sweep delay* mengatur seberapa panjang atau bagian mana dari benda uji yang akan ditampilkan pada layar dalam waktu yang bersamaan. Pengaturan *sweep length* disebut juga kalibrasi material, pengaturan range, atau range saja. *Sweep length* memanjangkan atau memendekkan tampilan pada layar dengan misal mengurangi range akan melebarkan skala layar dan juga sebaliknya. *Sweep delay* dinamakan juga sebagai pengaturan *delay* atau *delay* saja. Pengaturan *sweep delay* berguna untuk menggeser-geser tampilan indikasi sepanjang kedalaman benda uji. Pada pengujian *immersion*, *sweep delay* dapat digunakan untuk menghilangkan pulsa awal dari layar. Pengaturan *pulse repetition rate* (laju pengulangan pulsa) untuk mengatur seberapa sering pulsa dipancarkan. Laju pulsa bervariasi dari 50 hingga 2000 pancaran pulsa per detik atau lebih. Laju pemancaran pulsa yang tinggi membantu tampilan baseline menjadi terang. Apabila sebuah benda diuji, daerah di layar yang terlihat hanya antara pantulan permukaan depan dan belakang saja. Karena perambatan suara dan kembalinya pantulan di dalam benda memerlukan waktu tertentu, maka diharapkan pulsa lainnya dipancarkan sebelum pantulan permukaan belakang diterima oleh kristal *piezoelectric*. Oleh karena itu, laju pancaran pulsa ditentukan oleh ketebalan benda yang diuji atau oleh jangka waktu pergi-pulang dari berkas suara. Jika benda yang diuji tebal, laju pancaran pulsa harus rendah agar cukup waktu bagi seluruh pantulan untuk ditampilkan sebelum pulsa berikutnya dipancarkan. Laju

pengulangan pulsa yang tinggi merupakan pilihan terbaik saat menguji material tipis. Pada material yang tipis, range pengujiannya pendek sehingga waktu yang diperlukan antar pulsa juga pendek, sehingga lebih banyak pulsa dapat dipancarkan tiap detiknya. Laju pengulangan pulsa yang tinggi terutama diperlukan di dalam *scanning* otomatis karena pembatasan laju *scanning* sangat tergantung pada laju pengulangan pulsa. Pada beberapa peralatan, laju pulsa diatur secara otomatis. Pengaturan “panjang pulsa” mengatur panjang pulsa yang dipancarkan. Menambah panjang pulsa (atau “lebar pulsa”) memperbesar jumlah energi suara (kekuatan suara) yang dirambatkan dalam benda uji, namun akan mengurangi daya resolusi (ketelitian) dari peralatan. Resolusi terbaik diperoleh dengan pulsa sependek mungkin. Namun demikian, energi pulsa harus ditingkatkan untuk memperoleh penetrasi yang lebih dalam, atau untuk menembus material dengan butiran kasar.

Prinsip dari metode ini adalah dengan memanfaatkan pantulan gelombang yang berasal dari cacat di dalam material maupun permukaan dalam material. Pada pengujian ini menggunakan *pulse echo contact testing*. [Smilie, 1995]

- *Pulse Echo Contact Testing*

Pada metode ini, *transducer* ditempelkan langsung ke permukaan material. Untuk menghilangkan udara antara permukaan material dan *transducer* maka harus diberikan *couplant* antara kedua material tersebut. Metode ini bisa menggunakan *transducer* tunggal maupun kembar. Informasi mengenai lokasi cacat di dalam material ditampilkan dengan amplitude sinyal pantul dan waktu dari sinyal pantul yang diterima *transducer*. [Smilie, 1995]

Keuntungan utama dari metode ini adalah dapat diterapkan pada material yang besar dan berbentuk kompleks. Metode ini juga tidak memerlukan tangki air seperti *innersion method*. Teknik *pulse echo contact* mampu memberikan sensitivitas yang tinggi terhadap diskontinuitas yang berukuran kecil atau yang terletak di bawah permukaan material. Diskontinuitas yang terletak di dalam material juga dapat dideteksi dengan metode ini, terutama cacat laminar yang bentuknya tegak lurus dengan arah datang pancaran gelombang. Pada diskontinuitas yang permukaannya kasar atau yang berbentuk bola kecil (*porosity*) pancaran gelombang ultrasonik akan dibaurkan dan amplitude gelombang balik akan

melemah. Keberadaan cacat dapat diketahui dari berkurangnya amplitude gelombang pantul yang berasal dari permukaan balik material. [Smilie, 1995]

Kekurangan dari metode ini adalah adanya pengurangan resolusi di dekat permukaan material. Hal ini dikarenakan adanya pelebaran sinyal awal pada layar. Pelebaran sinyal ini disebabkan kontak langsung antara permukaan *transducer* dengan permukaan material yang dapat menyebabkan adanya letupan atau eksitasi yang besar dari energi gelombang. Letupan energi ini sedikit dapat dikurangi dengan memberikan *couplant* antara permukaan *transducer* dengan permukaan material [Smilie, 1995]

Menurut Smilie (1995) metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan *normal probe* maupun *probe* sudut. Dilihat dari penggunaan *probe*, metode *pulse echo contact testing* ini dibagi menjadi dua bagian yaitu :

- a. *Straight Beam Contact Testing (normal probe)*
- b. *Angle Beam Contact Testing (angle probe)*

2.3.2.1. *Straight Beam Contact Testing*

Merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam pengujian ultrasonik. Untuk memeriksa ketebalan material, metode ini adalah yang paling mudah digunakan. Karena sering digunakan untuk pemeriksaan di lapangan maka peralatan yang dipakai haruslah sederhana. Jenis *transducer* yang digunakan untuk *straight beam contact testing* adalah jenis *transducer* normal. Pada *transducer* ini dipasang *wear plate* yang berfungsi untuk melindungi kristal dari keausan saat *transducer* ditempelkan pada permukaan material. Kekurangan dari metode ini adalah kurangnya resolusi di dekat permukaan material karena adanya *main bang* dari *transducer*. Oleh sebab itu untuk meningkatkan resolusi di dekat permukaan material dapat dipasang *delay line* pada permukaan *transducer*. Namun hal ini juga dapat mengakibatkan pengurangan penetrasi dari pancaran gelombang. [Berke, 1990]

Metode ini paling sesuai digunakan pada material yang mempunyai permukaan yang mudah diuji. Prinsip pengujian ini sederhana yaitu gelombang dihasilkan oleh *transducer* kemudian ditransmisikan ke dalam material dan dipantulkan kembali bila gelombang mengenai permukaan balik atau cacat di dalam

material. Pada pengujian dengan menggunakan *direct transducer*, tampilan pada layar akan menunjukkan sinyal dari permukaan material menyatu dengan pulsa awal. Indikasi sinyal pantulan akan ditampilkan setelah sinyal awal sesuai dengan tebal material. Bila didalam material terdapat cacat atau suatu diskontinuitas, maka antara sinyal awal dan sinyal pantul akan terdapat sinyal dari cacat. [Berke, 1990]

Jarak antara tampilan sinyal ini tidaklah harus sesuai dengan jarak asli dari material tetapi jarak ini dapat disesuaikan dengan skala layar. Namun skala tampilan layar harus sesuai dengan jarak sebenarnya. [Berke, 1990]

Berbeda dengan pengujian menggunakan *direct transducer*, pengujian dengan *transducer* yang dilengkapi dengan *delay line* mempunyai tampilan sinyal awal dan sinyal permukaan material secara terpisah. Hal ini memberikan keuntungan resolusi di dekat permukaan material dapat ditingkatkan. [Berke, 1990]

2.3.2.2. Angle Beam Contact Testing

Transducer sudut sering digunakan untuk mendeteksi cacat yang tidak bisa terdeteksi dengan menggunakan *transducer* normal. *Transducer* sudut biasanya dilengkapi dengan sebuah baji yang mempunyai kecepatan rambat lebih rendah bila dibandingkan dengan kecepatan rambat gelombang di dalam material. Jenis material yang digunakan untuk baji antara lain *plexigas*, *lucit* dan *prespex*. Pengujian dengan *transducer* sudut biasanya menggunakan gelombang transversal. *Transducer* sudut didesain sedemikian rupa agar dapat menghasilkan gelombang transversal yang sudut datangnya lebih besar dari sudut kritis gelombang longitudinal. [Berke, 1990]

Perencanaan ini akan mengurangi kekacauan tampilan indikasi gelombang pada layar. Hal ini dikarenakan tidak adanya gelombang longitudinal dan tidak adanya perubahan mode gelombang. Namun kadang pengujian ultrasonik juga menggunakan gelombang longitudinal yang mempunyai sudut antara 0° sampai sudut kritis gelombang longitudinal. *Transducer* yang didesain menghasilkan gelombang longitudinal juga akan menghasilkan gelombang transversal. Keuntungan pengujian dengan menggunakan *transducer* sudut yang dilengkapi dengan gelombang longitudinal adalah pengaruh butiran material lebih kecil dibandingkan dengan pengujian dengan menggunakan gelombang transversal. [Berke, 1990]

Parameter utama dalam pengujian ultrasonik dengan menggunakan *transducer* sudut adalah terdapat sudut bias gelombang di dalam material dan *exit point* gelombang pada *transducer*. Sudut bias gelombang merupakan fungsi dari *material properties* dan sudut datang gelombang pada *transducer*. *Exit point* merupakan titik pusat pancaran gelombang yang mengenai permukaan material. [Berke, 1990]

Menurut Berke (1990) kalibrasi peralatan dan *transducer* merupakan hal yang penting dalam pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe sudut. Berbeda dengan pengujian yang menggunakan *transducer* normal yang mempunyai pantulan gelombang berasal dari permukaan balik material ditampilkan dengan jelas. Pada pengujian menggunakan *transducer* sudut, sinyal pantulan gelombang tidak akan ditampilkan pada layar. Oleh sebab itu penentuan sudut, *exit point*, probe serta *range* dari gelombang sangat berperan penting dalam memberikan keakuratan pendeteksian cacat di dalam material. Kalibrasi pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe sudut meliputi :

- a. Kalibrasi jarak
- b. Kalibrasi *range* gelombang
- c. Pengukuran amplitude dari *notch surface* pada blok kalibrasi.

2.4. *Transducer*

Transducer ultrasonik adalah jantung dari sistem perangkat pengujian ultrasonik. Material kristal di dalam *transducer* ultrasonik dibuat dari material-material *piezoelectric* seperti *quartz*, *lithium sulfate*, dan *polarized ceramics*.

1. *Quartz* adalah material yang pertama kali digunakan. Meskipun memiliki karakteristik frekuensi yang sangat stabil, *quartz* adalah penghasil energi suara yang buruk dan umumnya telah digantikan dengan material yang lebih efisien.
2. *Lithium Sulfate* adalah penerima energi suara yang sangat efisien, namun bersifat getas, larut dalam air, dan penggunaannya terbatas pada suhu di bawah 74°C.

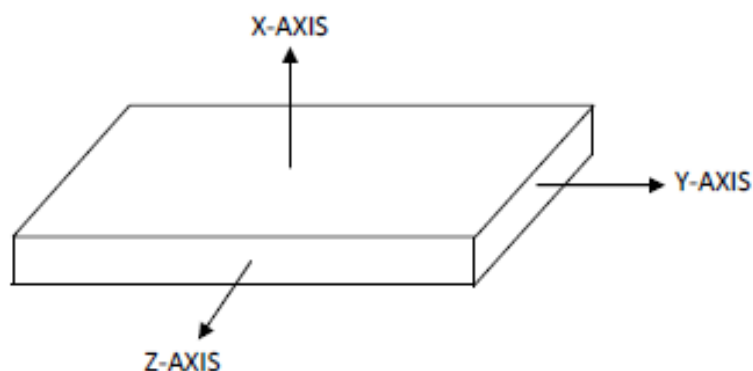
3. *Polarized* Ceramics merupakan penghasil energi suara yang paling efisien namun cenderung mengalami keausan. *Polarized* ceramics yang umum dipakai adalah *barium titanate*, *lead metaniobate*, dan *lead zirconate/titanate*.

Kemampuan sebuah *transducer* dinilai dari tiga hal:

1. Sensitivitas – kemampuan untuk mendeteksi diskontinuitas berukuran kecil.
2. Resolusi – kemampuan memisahkan pantulan suara dari dua buah diskontinuitas yang jaraknya berdekatan.
3. Efisiensi – efektivitas untuk mengubah energi.

Sensitivitas sebuah *transducer* diukur dari kemampuannya untuk mendeteksi sebuah lubang berdasar rata dengan ukuran dan jarak tertentu, dalam sebuah blok referensi standard. Makin kecil ukuran lubang yang terdeteksi, makin besar sensitivitasnya. Sensitivitas *transducer* diukur dari ketinggian amplitudo respons dari sebuah diskontinuitas buatan dalam sebuah blok referensi standard. Blok referensi perlu digunakan, karena meskipun ukuran, frekuensi, dan material *transducer* sama, namun amplitudo sinyal yang diperoleh dari sebuah pemantul tidak selalu sama besarnya. Material *transducer* biasanya dipotong dalam dua arah:

1. Kristal yang dipotong tegak lurus sumbu X menghasilkan gelombang longitudinal.
2. Kristal yang dipotong tegak lurus sumbu Y menghasilkan gelombang transversal. Seperti diperlihatkan di bawah ini, sebagian besar kristal yang dipakai untuk UT dipotong tegak lurus terhadap sumbu X.



Gambar 2. 8. Sumbu x-axis, y-axis, z-axis.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Faktor yang mempengaruhi kerja sebuah *transducer* yaitu:

1. Makin besar diameter *transducer*, makin kecil penyebaran berkas suaranya untuk frekuensi yang sama.
2. *Transducer* dengan diameter kecil dan frekuensi tinggi paling cocok untuk mendeteksi diskontinuitas berukuran sangat kecil.
3. Makin besar ukuran *transducer*, makin besar energi suara yang dipancarkannya ke dalam benda uji. *transducer* dengan diameter besar dan frekuensi rendah seringkali dipakai untuk memperoleh penetrasi yang dalam.
4. *Transducer* dengan kristal tunggal berukuran besar umumnya dibatasi untuk pemakaian frekuensi rendah.

Kristal-kristal berfrekuensi tinggi rentan terhadap kerusakan karena ukurannya sangat tipis. Frekuensi *transducer* adalah faktor penting dalam pemakaiannya.

1. Makin tinggi frekuensi *transducer*, makin kecil penyebaran berkas suaranya, dan makin besar sensitivitas dan resolusinya. Apabila gelombang suara menyebar maka hanya sedikit energi suara yang dipantulkan dari sebuah diskontinuitas berukuran kecil.
2. Makin rendah frekuensi, makin dalam penetrasi energi suara karena makin sedikit hamburannya. Penyebaran berkas suara yang lebar membantu mendeteksi pemantul yang tidak tegak lurus terhadap sumbu berkas suara.
3. Ketebalan kristal juga mempengaruhi frekuensi *transducer*. makin tinggi frekuensi *transducer*, makin tipis kristalnya. Kebanyakan pengujian ultrasonik memakai frekuensi 0.2 MHz sampai 25 MHz, namun kristal untuk pemakaian di atas 10 MHz terlalu tipis dan getas untuk pengujian kontak. Oleh karena itu, *transducer* dengan frekuensi pengoperasian di atas 10 MHz utamanya dipakai untuk pengujian immersion.

Probe normal biasanya memiliki lapisan *lucite*, keramik, atau *quartz* sebagai pelindung keausan di depan kristalnya sedangkan probe sudut memiliki lapisan pelindung berbentuk baji untuk menghasilkan sudut bias yang diinginkan. Probe sudut dapat juga dipakai untuk menghasilkan gelombang permukaan. Gelombang permukaan dihasilkan saat sudut datang gelombang suara mencapai

sudut kritis kedua. Probe sudut diidentifikasi berdasarkan gelombang bias transversal (70° , 60° , dll), di dalam material tertentu, biasanya baja atau aluminium.

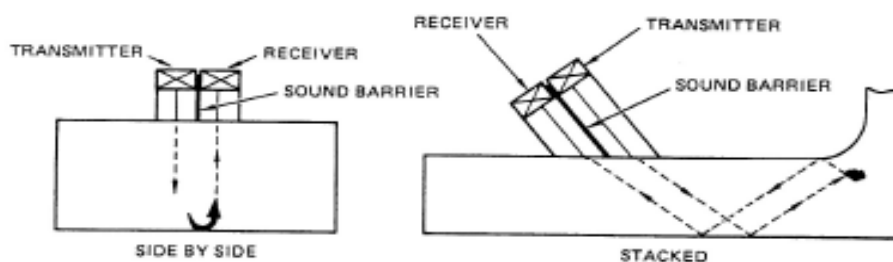
Lensa-lensa akustik yang berbentuk bola atau silinder umumnya ditambahkan pada probe untuk pengujian Immersion. Lensa-lensa tersebut digunakan untuk:

1. Meningkatkan sensitivitas dan resolusi.
2. Mengkompensasi kontur permukaan benda.
3. Menambah ketelitian pada pengujian di kedalaman tertentu.

Transducer terdapat dalam berbagai bentuk, ukuran, dan sifat-sifat fisik. Beberapa yang umum antara lain jenis *paint brush*, elemen ganda, elemen tunggal, sudut, terfokus, *mosaic*, kontak, dan *immersion*.

Transducer kristal tunggal dapat berupa pemancar saja, penerima saja, atau pemancar dan penerima. Transducer ini dapat mendeteksi cacat akan tetapi terkendala karena adanya *dead zone* sehingga memungkinkan adanya *nonrelevant pulse* / pulsa nonrelevant dikarenakan adanya gangguan dari sinyal yang dikirimkan dengan yang diterima. [Hendroprasetyo, 2013]

Transducer kristal ganda (seperti di bawah ini) dapat berupa *transducer* tunggal yang disusun bersebelahan atau bertingkat. Transducer ini mempunyai kristal ganda dengan tugas masing-masing yaitu satu kristal sebagai pengirim sinyal dan satu lagi sebagai penerima sinyal. *Transducer* kristal ganda memiliki resolusi permukaan yang lebih baik karena kristal penerimanya dapat menerima sinyal diskontinuitas sebelum kristal pemancar selesai memancarkan gelombang. [Hendroprasetyo, 2013]



Gambar 2. 9. Probe dengan *double crystal*.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

2.5. *Couplant*

Pembiasan gelombang suara akan mengalami hambatan ketika terdapat udara yang menghalangi *transducer* dengan media (logam). Sehingga gelombang suara akan langsung dikembalikan menuju *transducer* dan tidak dapat diteruskan menuju media atau logam yang akan diperiksa. Masalah tersebut dapat diatasi dengan cara menghilangkan udara yang menjadi jarak antara *transducer* dan logam dengan menggunakan media yang mempunyai nilai *acoustic impedance* yang sesuai dengan *transducer* dan logam yang akan diperiksa. Media yang digunakan harus dapat membasahi dan menyentuh sempurna permukaan *transducer* dan media yang diteliti. Media ini biasa berbentuk cairan, lemak atau pasta. Media inilah yang disebut dengan *couplant*. [Hellier, 2003]

Menurut Berke (1990) Banyak sekali media yang dapat dijadikan sebagai *couplant*. Faktor penting yang menjadi syarat *couplant* adalah tidak mengandung unsur kimia yang dapat bereaksi dengan logam atau media yang diteliti. Dalam banyak kasus, *couplant* harus diaplikasikan setipis mungkin. Karena jika aplikasinya terlalu tebal akan mengubah arah perambatan gelombang suara. *Couplant* yang biasa digunakan antara lain :

- a. Minyak tanah
- b. Oli
- c. Lemak
- d. Pasta
- e. *Glyserin*

Tujuan utama pemakaian kuplan adalah untuk menyediakan lintasan suara yang memadai antara *transducer* dan permukaan benda uji. Suatu kuplan harus secara efektif membasahi atau secara sempurna menghubungkan permukaan *transducer* dan benda uji.

1. Kuplan harus menghilangkan semua udara dari kedua permukaan mengingat udara adalah penghantar suara yang buruk.
2. Kuplan mengisi dan menghaluskan ketidakrataan permukaan pada benda uji.
3. Kuplan membantu pergerakan *transducer* sepanjang permukaan pada teknik contact testing.

4. Kuplan harus mudah diaplikasikan dan dibersihkan. Kuplan juga harus tidak merusak permukaan benda uji.

Oli atau air dicampur gliserin (perbandingan air : gliserin = 2 : 1) umum dipakai sebagai kuplan. Bahkan pasta kertas dinding juga dapat dipakai sebagai kuplan. Kuplan-kuplan yang lebih kental seperti gemuk atau oli kental dapat dipakai pada permukaan kasar atau vertikal. Kuplan cair dan pasta yang diformulasikan secara khusus juga dapat dibeli dari pabrik pembuat perangkat ultrasonik. Pada kondisi dimana penggunaan cairan atau pasta tidak memungkinkan, dapat digunakan material karet tipis sebagai kuplan. Aplikasi kuplan harus setipis mungkin karena jika ketebalan kuplan berlebihan, dapat terjadi penyimpangan arah berkas gelombang suara. Permukaan spesimen uji bisa sangat mempengaruhi perambatan gelombang ultrasonik. Permukaan yang kasar dapat menyebabkan pengaruh-pengaruh yang tak diinginkan akibat penyimpangan arah gelombang seperti:

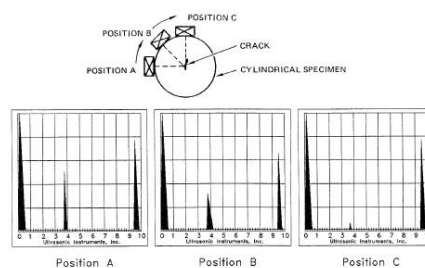
1. Hilangnya indikasi-indikasi diskontinuitas dan permukaan belakang.
2. Penambahan lebar indikasi permukaan depan dan sebagai akibatnya kemampuan deteksi (*resolving power*) akan hilang.
3. Penyebaran berkas suara.
4. Timbulnya gelombang permukaan palsu.

Pantulan permukaan belakang yang jelas menunjukkan respons yang baik dari material yang diuji. Gelombang suara dipantulkan kembali ke sumbernya seperti cahaya mengenai cermin. Jika permukaan tidak sejajar, energi yang dipantulkan akan diarahkan menjauh dari *transducer* seperti halnya cahaya mengenai permukaan cermin yang miring, sehingga mengurangi respons yang diterima. Pada beberapa kasus, bisa saja pantulan permukaan belakang akan hilang seluruhnya, tergantung pada besarnya sudut datang gelombang pada permukaan belakang. Bentuk fisik atau *kontur* sebuah benda harus dipertimbangkan saat mencoba melihat apakah sebuah indikasi diskontinuitas itu nyata atau tidak. Permukaan yang *berkontur* atau membentuk sudut dapat menimbulkan indikasi pada layar yang disalah-artikan sebagai indikasi diskontinuitas. Indikasi-indikasi palsu (atau *nonrelevant*) dihasilkan dari gelombang suara yang dipantulkan oleh bidang batas spesimen dan diterima kembali oleh *transducer* dalam jangka waktu

yang sama dengan waktu yang diperlukan bagi pantulan suara dari diskontinuitas kembali ke *transducer*. Saat menguji spesimen yang panjang, pantulan dari berkas yang menyebar dapat menghasilkan indikasi palsu pada layar seperti di bawah.

Gelombang transversal dapat dihasilkan akibat pantulan pada sudut yang tajam ke sisi yang berlawanan, dimana terjadi perubahan mode. Kejadian ini berlanjut hingga seluruh energi suara diserap oleh spesimen atau dipantulkan kembali ke *transducer*. Perubahan mode akan didiskusikan pada bab selanjutnya. Sinyal nonrelevant jenis ini akan muncul pada sebelah kanan indikasi pantulan permukaan belakang yang pertama. Struktur butiran memiliki pengaruh besar pada sifat akustik material. Baja tempa umumnya memiliki struktur butiran halus dan efek peredaman yang rendah terhadap gelombang suara yang melaluinya. Sebaliknya, benda cor umumnya memiliki struktur butiran yang lebih sulit dilalui gelombang suara. Struktur butiran kasar muncul sebagai indikasi berulang tak beraturan yang kadang kala disebut *grass*, *hash* atau *noise*. Struktur butiran halus memiliki pola yang relatif bersih dengan indikasi-indikasi permukaan depan dan belakang yang tajam.

Material yang memiliki porositas halus yang berlebihan juga memperlihatkan pola pada layar mirip dengan pola struktur butiran kasar. Terjadi pengurangan atau hilangnya indikasi permukaan belakang dan banyak indikasi diskontinuitas yang amplitudonya bervariasi muncul sebagai gangguan pada layar. Jika posisi diskontinuitas tidak tegak lurus (90 derajat) terhadap gelombang datang, gelombang pantul juga akan membentuk sudut. Seperti terlihat di bawah, hasilnya berupa pengurangan amplitudo indikasi diskontinuitas yang dimunculkan pada layar.



Gambar 2. 10. Hasil pada layar untuk penggunaan *transducer* pada bidang miring.
Sumber : Hendropresetyo, 2013

Pada posisi “A”, terjadi amplitudo maksimum dan indikasi diskontinuitas yang tajam dan indikasi permukaan belakang dengan amplitudo agak rendah.

Saat *transducer* digerakkan pada posisi “B”, amplitudo indikasi diskontinuitas akan turun dan amplitudo indikasi permukaan belakang cenderung naik sedikit karena bagian gelombang datang yang melewati diskontinuitas lebih besar. Perhatikan bahwa pada posisi B, indikasi diskontinuitas yang muncul pada layar tidak hanya turun amplitudonya, namun juga cenderung melebar dalam jangka waktu yang lebih lama. Pada posisi “C”, indikasi diskontinuitas berada pada posisi terendah, atau bahkan tak terlihat sama sekali dan indikasi permukaan belakang memiliki amplitudo seperti halnya pada specimen yang tidak ada diskontinuitasnya. [Hendroprasetyo, 2013]

2.6. Blok Kalibrasi

Dalam pengujian ultrasonik, diskontinuitas biasanya dibandingkan dengan sebuah standard referensi. Standard tersebut dapat berupa sebuah blok referensi atau sekumpulan blok-blok yang diperlukan untuk pengujian tertentu. Blok referensi terdapat dalam bentuk dan ukuran yang berbeda. Kebanyakan blok-blok referensi memiliki sifat-sifat umum berikut ini:

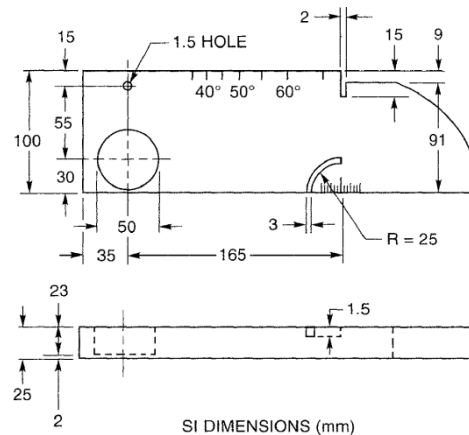
1. Mereka dibuat dari material yang dipilih dengan teliti.
2. Materialnya harus memiliki pelemahan yang tepat, ukuran butir, perlakuan panas, dan bebas dari diskontinuitas.
3. Semua dimensi harus dibuat dengan seksama.
4. Semua lubang harus dibuat rata dan memiliki diameter tertentu untuk dijadikan sebagai pemantul yang ideal.
5. Diameter lubang yang dibor menyamping harus dikontrol secara teliti.

Sekumpulan blok-blok referensi standard yang umum dipakai yaitu:

- Blok-blok amplitudo-luasan
- Blok-blok amplitudo-jarak
- Kumpulan blok dasar ASTM yang terdiri dari blok-blok amplitudo-luasan dan amplitudo-jarak.

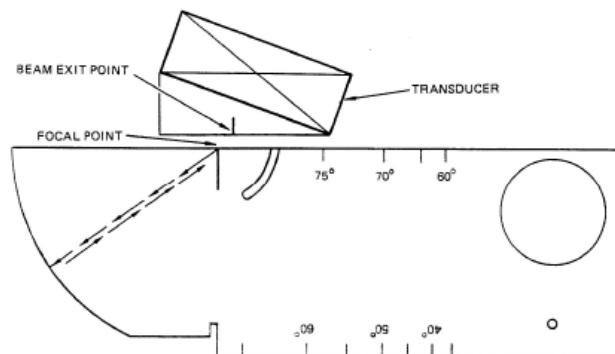
Blok-blok standard khusus seringkali digunakan untuk komponen seperti sambungan las, cor, dan perpipaan. Blok-blok standard biasanya dibuat dari material dan bentuk produk yang sama dengan material yang diuji. Pemantul

referensi seperti takik atau lubang buatan ditambahkan pada blok standard tersebut. Blok kalibrasi lainnya adalah BLOK IIW (International Institute of Welding) V1. Blok tersebut berfungsi untuk memverifikasi besarnya jarak, sudut probe dan lokasi *exit point*, dan memeriksa resolusi *transducer*. [Hendroprasetyo, 2013]



Gambar 2. 11. Blok kalibrasi V1.
Sumber :Hendroprasetyo, 2013

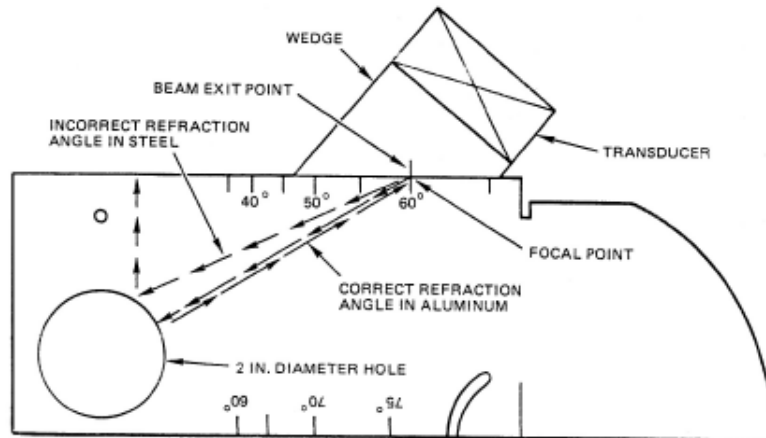
Dalam pengujian kontak dengan probe sudut, letak *exit point* dari probe harus diketahui untuk menentukan lokasi diskontinuitas secara akurat. Seperti ditunjukkan di bawah ini, probe digerakkan maju-mundur hingga garis vertikal pada layar mencapai amplitudo maksimum. titik fokus pada blok IIW selanjutnyaberhubungan dengan *exit point* berkas suara dari dalam probe.



Gambar 2. 12. Kalibrasi exit point dan jarak.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Baji plastik pada probe sudut akan mengalami keausan dalam penggunaannya. Keausan ini dapat mengubah letak exit point dan sudut berkas suara.

Verifikasi besarnya sudut probe dilakukan dengan cara seperti berikut:

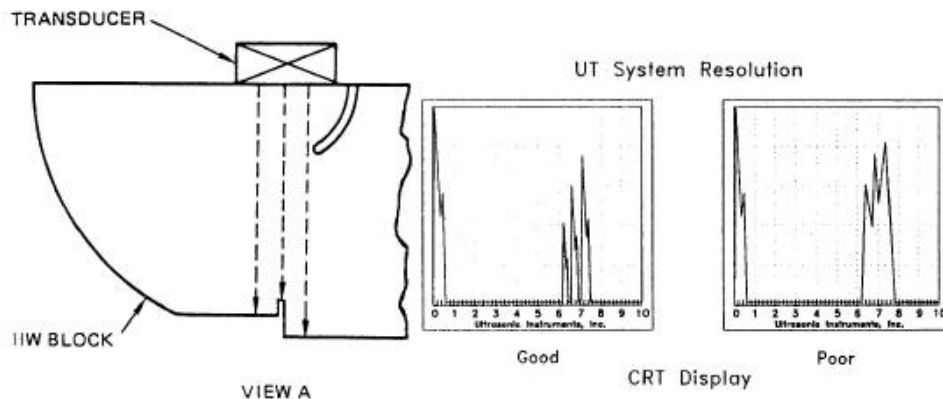


Gambar 2. 13. Kalibrasi sudut.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Pada posisi di atas, probe digerakkan maju mundur hingga pantulan dari lubang berdiameter 2 inci menghasilkan amplitudo maksimum pada layar.

Sudut berkas suara dapat dibaca pada lokasi dimana *exit point* pada *transducer* bersesuaian dengan besarnya derajat yang tertera pada sisi-sisi blok. Letak exit point pada probe sebaiknya diperiksa terlebih dahulu. Jika tanda lokasi exit point letaknya tidak tepat, besarnya sudut yang diperiksa pun tidak akan akurat. [Hendroprasetyo, 2013]

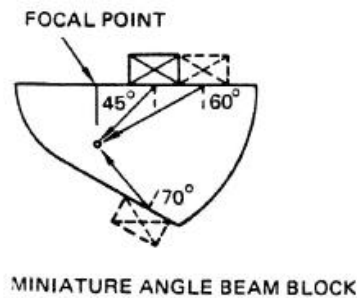
Resolusi dikatakan baik apabila peralatan dapat memisahkan garis vertikal dari ketiga pemantul. Daya resolusi jarak jauh dari sebuah perangkat uji dapat dilihat dengan menempatkan sebuah probe normal di atas blok IIW seperti di gambar di bawah ini.



Gambar 2. 14. Kalibrasi resolusi.

Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Blok sudut miniatur V2 juga dapat dipakai untuk mengkalibrasi perangkat saat pemeriksaan menggunakan probe sudut. Blok miniatur V2 dimaksudkan untuk pemakaian saat pekerjaan di lapangan dan tidak selengkap blok IIW V1 yang lebih besar. [Hendroprasetyo, 2013]



Gambar 2. 15. Blok Kalibrasi V2.

Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Untuk menghasilkan berkas suara pada sudut tertentu, ada tiga faktor yang perlu diketahui untuk menentukan sudut baji yang tepat:

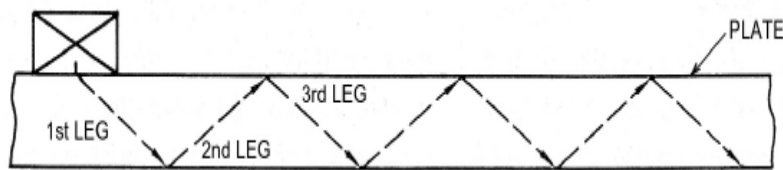
1. Sudut di dalam benda uji yang diinginkan.
2. Cepat rambat gelombang longitudinal di dalam baji.
3. Cepat rambat gelombang di dalam benda uji(transversal atau longitudinal, tergantung pada mode gelombang yang diinginkan).

Dalam pengujian probe sudut, sudut bias akan menjadi lebih kecil jika cepat rambat suara di dalam baji dan di dalam benda uji hampir sama.

Pengujian memakai probe normal memiliki keuntungan yaitu mampu menemukan laminasi dengan mudah. Namun demikian, pengujian memakai probe normal memboroskan waktu dan diskontinuitas dekat permukaan mungkin tak terdeteksi, kecuali apabila dipakai teknik khusus.

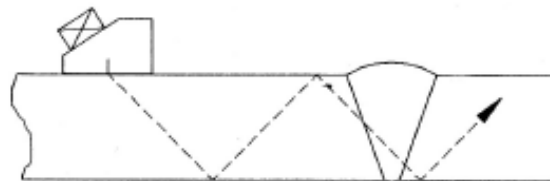
Keunggulan pengujian memakai probe sudut adalah kecepatannya yang tinggi untuk memeriksa material-material pelat. Sebagian besar jenis diskontinuitas di dalam pelat yang arahnya tegak lurus permukaan scan akan ditemukan dengan pengujian probe sudut.

Namun demikian, laminasi halus yang sejajar permukaan mungkin saja tidak akan terdeteksi oleh probe sudut.



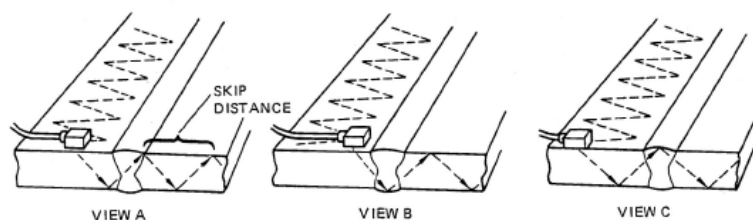
Gambar 2. 16. Leg pada probe sudut.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Sebelum melakukan pengujian dengan probe sudut, pelat harus di-scan dengan probe normal dulu untuk menemukan cacat-cacat besar atau laminasi. Pengujian kontak sambungan las dapat dilakukan memakai teknik probe normal atau probe sudut, tergantung pada jenis cacat yang akan dideteksi. Pengujian probe normal mensyaratkan agar permukaan las digerinda rata seperti terlihat di bawah ini. Namun demikian kurang fusi, retak, kurang tembusan tidak mudah terdeteksi dengan teknik probe normal.



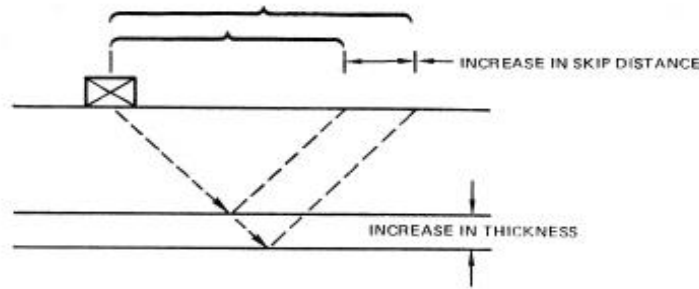
Gambar 2. 17. Pengujian ultrasonik menggunakan probe sudut.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Pengujian sambungan las memakai probe sudut dilakukan seperti gambar 2.28. Untuk men-scan sambungan las, *transducer* digerak-gerakkan ke depan dan belakang seperti di bawah ini. Pada $\frac{1}{2}$ jarak skip, berkas suara mengenai dasar pelat dan pada 1 jarak skip, berkas akan mengenai atas pelat seperti dalam gambar di bawah ini.



Gambar 2. 18. Proses pengujian dengan cara memaju-mundurkan *transducer*.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Jarak skip ditentukan oleh sudut gelombang suara yang memasuki las, yang ditentukan oleh sudut baji *lucite*. Setelah jarak skip diketahui, permukaan benda ditandai dengan kapur untuk menunjukkan kemana probe harus digerakkan agar diperoleh cakupan menyeluruh pada daerah las. Jarak skip juga akan bertambah jika ketebalan benda uji bertambah besar seperti dalam gambar di bawah ini. [Hendroprasetyo, 2013]



Gambar 2. 19. Semakin tebal pelat maka semakin besar jarak skip.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Menurut Hendroprasetyo (2013) pemilihan sudut probe ditentukan oleh:

1. Persyaratan dari prosedur atau code.
2. Desain sambungan las.
3. Konfigurasi spesimen.

2.7. Diskontinuitas

Diskontinuitas dapat dibagi menjadi tiga katagori umum: bawaan, proses, dan servis.

- Bawaan.

Biasanya berhubungan dengan diskontinuitas yang ditemukan dalam logam cair. Diskontinuitas *wrought* bawaan berhubungan dengan peleburan dan pembekuan *ingot* sebelum dibentuk menjadi *slabs*, *bloom*, dan *billet*. Diskontinuitas tuangan bawaan berhubungan dengan peleburan, pengecoran, dan pembekuan benda cor. Biasanya disebabkan karena variabel bawaan seperti kurang pengisian, *gating*, suhu tuang berlebihan, dan gas yang terperangkap.

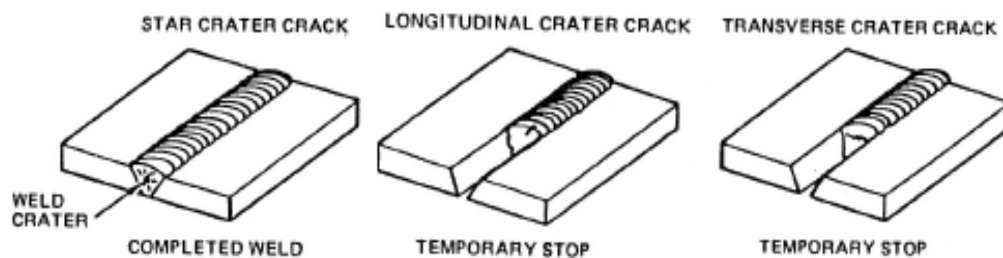
- Diskontinuitas Proses.

Biasanya berhubungan dengan aneka proses manufaktur seperti permesinan, pembentukan, *extruding*, pengerolan, pengelasan, laku panas, dan pelapisan.

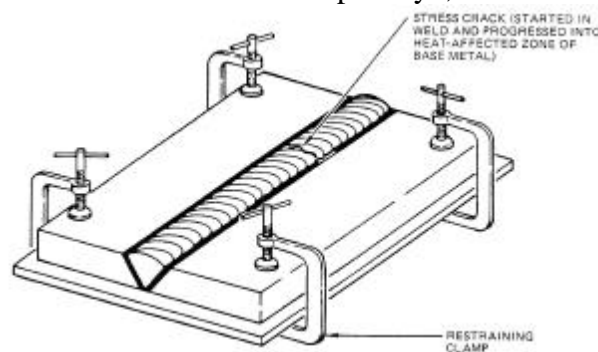
- Diskontinuitas Servis.

Berhubungan dengan aneka kondisi pengoperasian seperti korosi tegangan, kelelahan, dan erosi.

Selama proses manufaktur, banyak diskontinuitas yang tadinya berada di bawah permukaan menjadi membuka ke permukaan karena permesinan, penggerindaan, dan sejenisnya. Harus diingat bahwa diskontinuitas itu belum tentu cacat. Sembarang indikasi yang ditemukan oleh inspektor dinamakan sebagai diskontinuitas hingga dikenali dan dievaluasi pengaruhnya terhadap pengoperasian komponen. [Hendroprasetyo, 2013]

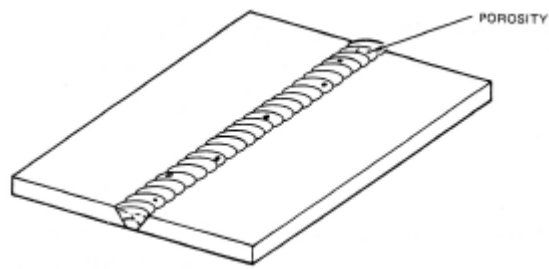


Gambar 2. 20. Retak kawah.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013



Gambar 2. 21. Retak tegang.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

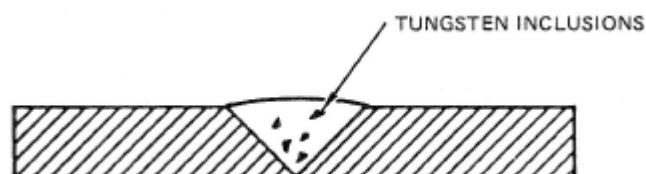
Retak terjadi apabila tegangan melebihi kekuatan material, menghasilkan sobekan atau kepecahan yang bentuknya tak beraturan dengan sisi-sisi bergerigi. Retak merupakan pemantul ultrasonik yang baik.



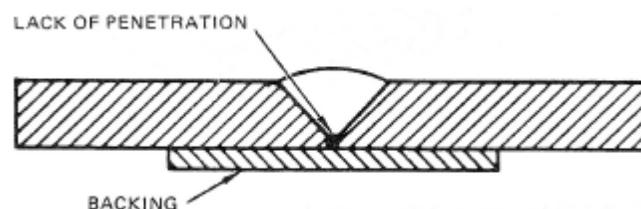
Gambar 2. 22. Porositas.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Porositas terjadi apabila gas terperangkap di dalam logam las sebelum keluar ke permukaan. Pori kecil biasanya berupa rongga bulat dengan permukaan bagian dalam yang halus. Karena bentuknya bulat dan halus, gelombang suara akan mengenai pori secara. Sinyal biasanya berupa garis vertikal tunggal yang muncul pada satu titik di layar dan langsung hilang tanpa bergerak-gerak ke samping terlebih dulu.

Porositas berkelompok merupakan sekelompok pori-pori yang letaknya berdekatan satu sama lainnya di dalam logam las. Tiap pori adalah diskontinuitas bulat tersendiri yang memantulkan suara seperti pori tunggal. Namun karena diskontinuitasnya banyak, layar akan menampilkan banyak garis vertikal tunggal saat berkas melaluinya. Jika ukuran pori kecil, tiap sinyal akan muncul dan lenyap di titik yang sama pada layar.



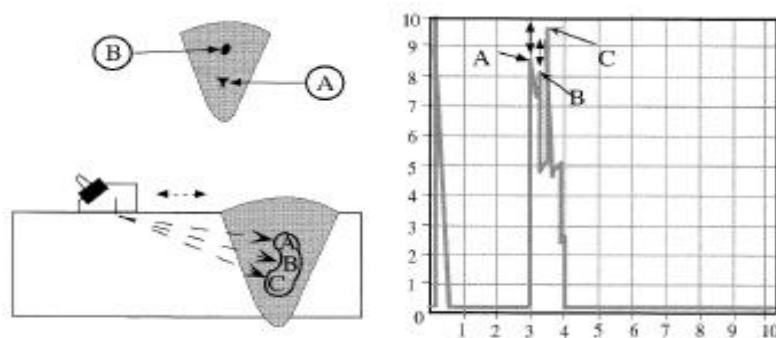
Gambar 2. 23. Inklus tungsten.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013



Gambar 2. 24. Kurang penembusan.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Kurang penembusan terjadi apabila logam las tidak menembus daerah akar pada alur secara sempurna. Kurang penembusan diakibatkan oleh alur las yang tidak meleleh sempurna, sehingga permukaan diskontinuitasnya lebih halus daripada permukaan retak. Akibatnya sisi kiri sinyal pada layar akan cenderung lebih vertikal dibandingkan pada retak.

Slag inclusion terdapat dalam dua bentuk yaitu slag padat yang tersisa dari pengelasan sebelumnya dan slag cair yang terperangkap ketika logam las membeku sebelum slag tersebut mengapung ke permukaan logam las. Slag jenis pertama (A) memiliki bentuk sisi agak tajam dan panjang, sejajar dengan panjang las-lasan. Slag yang terperangkap dalam logam las dingin (B) cenderung lebih bulat dan kadang-kadang bentuknya oval. Sinyal slag pada layar tampak sebagai kelompok sinyal yang sebelah-menyebelah dengan ketinggian amplitudo bervariasi saat berkas suara melewatinya. Sinyal dari slag yang berbentuk seperti kacang diperlihatkan di bawah ini:



Gambar 2. 25. Pembacaan *slag inclusion* pada layar.
Sumber : Hendroprasetyo, 2013

Kurang fusi yaitu diskontinuitas yang terjadi apabila logam las cair tidak menyatu dengan logam induk atau lapisan las sebelumnya. Kurang fusi pada dinding samping terjadi apabila logam las tidak menyatu dengan sisi alur las, meninggalkan diskontinuitas planar yang halus sepanjang sisi alur las. Kurang fusi dinding samping biasanya paling baik dilihat dari kaki ke-2 dari sisi las yang sama. [Hendroprasetyo, 2013]

2.8. Definisi Korosi

Korosi dapat diartikan sebagai suatu proses kerusakan atau keausan material akibat reaksi dengan lingkungan. Dalam beberapa sumber, definisi korosi terbatas pada komponen tetapi seringkali seorang ahli korosi harus mempertimbangkan antara logam dan material untuk memberikan penyelesaian yang ada. Lingkungan yang menyebabkan kerusakan material disebut lingkungan korosif yang terbagi dalam beberapa bagian.

1. Lingkungan udara berupa uap air yang mengandung material.
2. Pelarutan industri yang terdiri dari uap air, gas-gas seperti amoniak, hidrogen dan asam-asam organik.
3. Lingkungan bersuhu tinggi.

Di alam bebas kebanyakan logam ditemukan dalam keadaan tergabung secara kompleks disebut bijih (*ore*). Bijih-bijih ini biasanya berupa oksida sulfida, karbonat, atau senyawa yang lebih kompleks. Senyawa-senyawa tersebut banyak yang sudah ada dikerak bumi ini tercipta. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa kondisi kimia bijih-bijih ditentukan oleh kehendak alam. Kehendak alam inilah yang kemudian menjadi hukum yang berkembang melalui pengkajian termodinamika dan menggunakan terminologi termodinamika itu dapat dikatakan bahwa bijih dan senyawa-senyawa lain sementara berada dalam keadaan energi paling rendah.

Hukum termodinamika mengungkapkan tentang kuatnya kecenderungan keadaan suhu tinggi untuk berubah keadaan energi rendah. Kecenderungan inilah yang membuat logam tergabung kembali dengan unsur-unsur yang ada di lingkungan yang alami membentuk gejala korosi.

2.9. Jenis-Jenis Korosi

2.9.1. Korosi seragam (*Uniform or general attack corrosion*).

Korosi seragam adalah korosi yang terjadi pada permukaan material akibat bereaksi dengan oksigen. Biasanya korosi seragam ini terjadi pada material yang memiliki ukuran butir yang halus dan *homogenitas* yang tinggi. Sebagai akibat korosi ini logam akan menipis dan pada akhirnya tidak dapat digunakan. Korosi ini adalah korosi yang paling merusak logam, jenis korosi ini, bagaimanapun tidak terlalu berbahaya jika ditinjau dari segi teknik. Hal ini karena life time dari sebuah

konstruksi yang mengalami korosi dapat diperkirakan dengan menggunakan percobaan secara sederhana. Uniform attack dapat dicegah dengan cara melakukan perlindungan material seperti pengecatan, inhibitor atau dengan perlindungan katodik.



2.9.2. Korosi Galvanik.

Korosi galvanik adalah korosi yang terjadi pada dua logam yang berbeda jenis jika di hubungkan. Korosi ini juga terjadi karena pasangan elektrikal pada dua logam atau paduan logam yang memiliki perbedaan komposisi. Kedua logam yang berada dalam larutan elektrolit akan membentuk sebuah sel galvanik.

Logam yang memiliki posisi lebih tinggi dalam daftar seri elektrokimia akan menghasilkan reaksi anodik atau oksidasi, sedangkan logam yang memiliki nilai potensial elektoda lebih tinggi atau mulia akan menghasilkan reaksi katodik atau reduksi pada permukaannya. Logam yang lebih anodik akan terkorosi, sementara logam lainnya yang lebih katodik akan terlindungi. Itu karena adanya aliran arus listrik dan perbedaan jenis logam.

Posisi logam pada deret volta akan menentukan apakah suatu logam lebih anodik atau katodik. Untuk memperkirakan korosi galvanik dapat menggunakan besarnya potensial yang terjadi pada dua logam tersebut. Pada tabel *electromotive force* dapat digunakan untuk mengetahui besar beda potensial yang terjadi. Pada tabel *electromotive force* atau emf series elektroda hidrogen (H_2/H^+) digunakan sebagai acuan, sehingga harga untuk elektroda hidrogen adalah nol. Untuk mengetahui besarnya elektroda pada setiap logam dapat dilihat pada tabel sebagai berikut: [Fontana, 1987].

Tabel. 2.1 Standart emf series untuk metal.

 Nobel or chathodic	Metal-metal ion equilibrium (unit activity)	Electrode potensial vs Normal hydrogen electrode at 25 ⁰ c, volt
	Au – Au ⁺³	+ 1.498
	Pt – Pt ⁺²	+ 1.2
	Pd – Pd ⁺²	+ 0.987
	Ag – Ag ⁺	+ 0.799
	Jg – Hg ₂ ⁺⁷	+ 0.788
	Cu – Cu ⁺	+ 0.337
	H ₂ – H ⁺	0
	Pb – Pb ⁺²	- 0.126
	Sn – Sn ⁺²	- 0.136
	Ni – N ⁺²	- 0.250
	Metal-metal ion equilibrium (unit activity)	Electrode potensial vs. Normal hydrogen electrode at 25 ⁰ c, volt
Active or anodic 	Cd – Cd ⁺²	- 0.403
	Fe – Fe ⁺²	- 0.440
	Cr – Cr ⁺³	- 0.744
	Zn – Zn ⁺²	- 0.763
	Al – Al ⁺³	- 1.662
	Mg – Mg ⁺²	- 2.363
	Na – Na ⁺	- 2.714
	K – K ⁺	- 2.925



Sumber : Fontana, 1987

Perbedaan potensial antara logam dihitung dengan menggunakan perbedaan absolute antara standar *emf* potensialnya, sebagai contoh pada nilai potensial 0.462 volt antara elektroda tembaga dengan perak dan 1.1 antara tembaga dengan timah. Ini tidak mungkin menyusun potensial campuran yang mengandung dua atau lebih komponen reaktif. Jadi hanya logam-logam murni yang ditampilkan pada tabel tersebut.

Dalam kenyataan, korosi galvanik antara dua logam tak sejenis merupakan hasil dari hubungan listrik dua logam. Pada tabel *emf* di atas dapat mempermudah dalam memperkirakan terjadinya korosi, tetapi tabel *emf* masih memiliki kekurangan. Pada tabel *emf* hanya menunjukkan potensial murni tidak menunjukkan

potensial logam paduan. Oleh sebab itu dibuatlah tabel galvanic. Tabel galvanic memiliki keakuratan yang lebih jika dibandingkan dengan tabel efm series.

Tabel. 2.2. Galvanic untuk beberapa metal .

<div style="text-align: center;">  Nobel or chathodic </div> <div style="text-align: center;">  Active or anodic </div>	Platinum Gold Graphite Titanium Silver Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo) Hastolloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo) 18 – 8 Mo Stainless steel (passive) 18 – 8 Stainless steel (passive) Chromium stainless steel 11 – 30 % (passive) Inconel (Passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe) Nickel (Passive) Silver solder Monel (70 Ni, 30 Cu) Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni) Bronzes (Cu - Sn) Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe) Hastelloy B (66 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn) Inconel (Aktive) Nickel (Aktive) Tin 18 – 8 Mo stainless steel (Active) 18 – 8 stainless steel (Active) Ni – Resist (high Ni cast iron) Chromium stainless steel, 13 % (active) Cast Iron Steel or Iron 2024 aluminium (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn) Cadmium Commercially pure aluminium (1100) Zinc Magnesium and magnesium alloys
---	---

Sumber : Fontana, 1987

Tabel di atas merupakan dasar untuk perhitungan potensial dan galvanic corrosion test didalam kandungan air laut yang bebas polusi yang dilakukan oleh perusahaan nickel internasional di pulau harbour [Fontana, 1987].

2.9.3. Korosi Celah (*crevice corrosion*).

Korosi celah yaitu jenis korosi yang terjadi di dalam celah dan pada daerah permukaan logam yang terlindungi. Jenis ini sering terjadi pada volume kecil yang tetap pada daerah permukaan logam, biasanya disebabkan oleh lubang, celah dibawah paku keling, dan pada baut [Fontana, 1987].

Korosi celah terjadi dengan mekanisme sebagai berikut: [trethewey,1991]

- Mula-mula elektrolit diandaikan memiliki komposisi seragam, korosi terjadi secara perlahan di seluruh permukaan logam terbuka.
- Pengambilan oksigen yang terlarut menyebabkan lebih banyak lagi difusi oksigen di permukaan-permukaan elektrolit yang kontak langsung dengan atmosfer. Oksigen di permukaan logam lebih mudah dikonsumsi dari pada di dalam celah, sehingga pembangkitan ion negatif di dalam celah berkurang.
- Untuk mempertahankan keadaan maka ion negatif diluar celah terdifusi kedalam celah. Korosi terjadi karena mendapat ion-ion kompleks antar klorida akibat ion-ion logam mengalami reaksi dengan air.
- Keadaan akan semakin memburuk jika terjadi peningkatan konsentrasi ion hidrogen dan konsentrasi anion di dalam celah.

2.9.4. Korosi sumuran (*pitting corrosion*).

Korosi sumuran adalah korosi lokal yang menyerang permukaan logam, hasil dari korosi jenis ini adalah lubang di permukaan logam. Logam yang terkorosi memiliki diameter yang berbeda mulai dari kecil sampai besar. Tetapi pada kebanyakan kasus diameter yang terjadi relatif kecil [Fontana,1987].

Korosi sumuran adalah salah satu dari jenis korosi yang paling merusak. Sebuah konstruksi maupun peralatan dapat rusak walaupun berat yang hilang hanya sejumlah kecil dari keseluruhan struktur. Korosi jenis ini sulit dideteksi, karena memiliki ukuran kecil dan lubang yang terjadi sering tertutup dengan produk korosi [Fontana, 1987].

Korosi sumuran menyerang bagian permukaan logam yang selaput pelindungnya tergores atau retak akibat perlakuan mekanik, maupun tonjolan akibat dislokasi atau slip yang diakibatkan oleh tegangan tarik yang dialami atau diterima, mempunyai komposisi heterogen akibat adanya inklusi, segregasi atau persipitasi [Trethewey,1991].

2.9.5. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*).

Korosi batas butir yaitu korosi yang terjadi pada batas butir, dimana batas butir sering kali merupakan tempat mengumpulnya impurity atau suatu presipitan, juga daerah yang lebih tegang, oleh karena itu tidak menutup kemungkinan terjadi korosi. Adanya batas butir (grain boundary) banyak memberikan efek didalam aplikasi atau penggunaan suatu material. Jika suatu logam terkorosi secara merata maka batas butir akan terlihat jelas lebih reaktif dibandingkan pada butir material tersebut. Pada beberapa kondisi, pertemuan butir sangat reaktif dan menyebabkan terjadinya korosi pada batas butir lebih cepat dibandingkan dengan korosi pada butir. Intergranular corrosion akan mengurangi atau menghilangkan kekuatan dari material. Intergranular corrosion juga sangat sulit untuk dideteksi sehingga kerusakan pada suatu alat maupun konstruksi dapat terjadi tanpa diketahui tanda-tanda terjadinya.

Korosi batas butir sering terjadi pada logam yang dikenal tahan terhadap korosi, seperti stainless steel, korosi jenis ini terjadi jika stainless steel mengalami pemanasan dan pendinginan lambat. Pada temperatur 950° F sampai 1450° F Cr Co (kromium dan carbon) tidak dapat larut dan akan terjadi presipitasi diluar larutan jika kadar karbon adalah 0.02 % atau lebih. Krom akan keluar dari larutan pada daerah batas butir akan kekurangan krom. Karbida krom pada daerah batas butir tidak mengalami korosi. Korosi akan menyerang pada daerah yang dekat dengan batas butir, karena pada daerah ini telah kehilangan krom sehingga daya tahan terhadap korosi menurun.[Fontana, 1987].

2.9.6. *Selective leaching*.

Korosi jenis ini menyerang seluruh permukaan terbuka, sehingga bentuk keseluruhan tidak ada perubahan. Hilangnya sebuah unsur paduan dalam jumlah besar menjadikan logam berpori-pori dan hampir tanpa kekuatan mekanik lagi. Efek ini bersifat sangat lokal sehingga yang yerbentuk pori melainkan lubang.

Selective leaching adalah pelepasan netto sebuah unsur dari paduan, dan karena itu sering disebut demetalyfication. Penyebab utama dari selective leaching adalah efek galvanik antar unsur-unsur berlainan yang membentuk paduan walaupun factor-factor lain seperti kandungan udara dan temperatur yang berbeda juga penting. [Fontana, 1987].

2.9.7. Korosi Erosi (*Erosion Corroton*).

Korosi erosi adalah percepatan atau penambahan korosi dari logam akibat gerak relatif antara cairan korosif dengan permukaan logam. Biasanya gerakan relatif yang terjadi termasuk gerakan cepat sehingga efek yang terjadi adalah abrasi. Permukaan logam akan hilang, sehingga hasil yang diperoleh berupa suatu bentuk aliran pada permukaan logam. Dalam beberapa kasus, pergerakan dilingkungan dapat mengurangi korosi yang terjadi, kondisi tersebut terjadi jika dalam keadaan berhenti, kejadian tersebut bukan termasuk korosi erosi karena keadaan yang terjadi tidak bertambah buruk [Fontana, 1987].

Dalam banyak kasus, kegagalan karena korosi erosi terjadi dalam waktu singkat, dan kegagalan tersebut terjadi secara tidak terduga karena test yang dilakukan pada kondisi tidak mempertimbangkan efek korosi. Kebanyakan logam dan paduan logam peka terhadap kerusakan yang terjadi akibat korosi erosi. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi telah banyak dilakukan perkembangan terhadap pelepasan permukaan logam, contohnya adalah pada logam aluminium dan stainless steel. [Fontana, 1987].

2.9.8. *Stress Corrosion Cracking*.

Stress corrosion cracking adalah korosi yang terjadi akibat bekerjanya tegangan dan media yang korosif. Akibat stress corrosion adalah keretakan pada logam akibat adanya tegangan tarik. Tegangan tarik tersebut dapat berupa tegangan sisa.

2.9.9. Proses Terjadinya Korosi

- Reaksi Elektrokimia

Korosi akibat reaksi elektrokimia digambarkan pada reaksi tembaga yang dicelupkan dalam asam klorida (HCl). Pada saat dicelupkan pada asam klorida akan muncul sebuah reaksi, gas hydrogen berkembang dan tembaga berlarut, pada proses

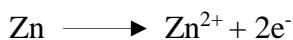
ini terjadi reaksi kimia yang sangat cepat, membentuk asam clorida, secara matematis dapat digambarkan sebagai berikut: [Fontana, 1987].



Dengan memperhatikan ion Cl^- tidak terlibat dalam reaksi, akan persamaan dapat ditulis secara sederhana :



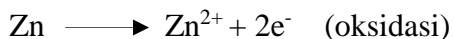
Persamaan diatas merupakan persamaan dari tembaga dengan ion hydrogen dalam larutan asam membentuk ion²⁺ dan gas hidrogen. Zn teroksidasi menjadi ion Zn^{2+} dan ion hidrogen tereduksi menjadi H_2 . Persamaan ini dapat dipisahkan kedalam dua reaksi, reaksi oksidasi tembaga dan reaksi ion hidrogen [Fontana,1987].



Reaksi ion hidrogen bersifat katodik



Reaksi oksidasi atau anodik ditandai dengan kenaikan produksi elektron dari 0 menjadi 2, sedangkan ion hidrogen akan direduksi menjadi gas hidrogen. Secara lengkap dapat dirumuskan sebagai berikut :



Reaksi ini dapat berlangsung bila elektron mengalir dari anodik ke katodik melalui suatu elektrolit. Dan aliran elektron hanya dapat terjadi bila ada perbedaan tegangan antara anodik dan katodik. Ini berarti suatu logam akan terkorosi bila pada permukaan logam tersebut terdapat daerah yang bersifat anodik dan katodik.

Reaksi anodik pada peristiwa secara umum dapat digambarkan sebagai berikut :



Sedang untuk katodik

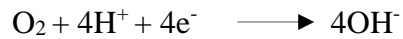
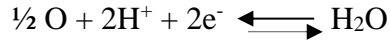
1. Evolusi Hidrogen



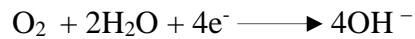
2. Reduksi Air



3. Reduksi Oksigen



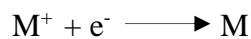
4. Reduksi oksigen (lingkup netral atau basah)



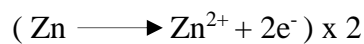
5. Reduksi Ion



6. Pengdapan logam



Bila permukaan Fe kontak dengan air maka akan terjadi reaksi anodik sebagai berikut :



Dimana $2\text{Zn} + (\text{OH}^-)_2$ adalah karat.

- Reaksi Kimia

Korosi yang terjadi merupakan suatu reaksi kimia murni dimana pada proses ini terjadinya korosi tanpa ikut sertakan elektron. Secara matematis dapat digambarkan sebagai berikut :



2.9.10. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi

- Pengaruh Metalurgi terhadap proses terjadinya korosi

Ditinjau dari segi metalurgi, maka tidak dapat terlepas dari kombinasi unsur dalam logam itu sendiri. Komposisi unsur dalam logam sangat berpengaruh pada perilaku dalam logam dalam media cepatnya korosi self katodik, artinya tanpa ada efek lainnya pun korosi sudah terlalu cepat. [Fontana,1987].

Dalam proses korosi logam berlaku sebagai subyek reaksi, maka dengan sendirinya mempelajari karakteristik dari logam baik secara makro maupun secara mikro sangatlah penting supaya mendapatkan jenis logam yang memiliki ketahanan korosi tinggi terhadap lingkungan tertentu [Trethewey,1991].

Logam dan paduannya terbentuk dari berbagai kristal atom. Kristal-kristal atom tersusun dalam suatu bentuk dan teratur dengan ikatan yang kuat. Beberapa bentuk penyusunan kristal diantaranya *Face centred cubic* (FCC), *body cetered cubik* (BCC), *Hexagonal*. Yang termasuk *body centered cubic* diantaranya *barium, crhomium, colombium, iron, molybdenum, tungsten, vanadium*. Sedangkan yang termasuk dalam *face centered cubik* adalah *alumunium, calsium, copper, gold, nickel, platinum, silver*. Dan yang termasuk dalam *hexagonal* logam diantaranya *beryllium, cadmium, cobalt, magnesium, titanium, zink, zicromium*. Pada struktur logam, logam akan tetap menempati bentuk kristal tertentu pada range temperatur tertentu, akan tetapi diluar batas temperatur maksimum atau minimum yang diijinkan bentuk kristalnya berubah menjadi tipe lain yang sesuai dengan kondisi temperatur yang baru, dan keadaan ini disebut *allotropic* [Trethewey,1991].

Banyak sedikitnya atom kristal akan mempengaruhi ketahanan korosi. Semakin banyak jumlah atom yang berada dalam suatu kristal, maka akan semakin besar kemungkinan terjadinya korosi. Ketiga jenis krisal tersebut harus terpenuhi jumlah atomnya. Jika ada susunan yang kosong maka akan berakibat mudahnya material terkorosi selain itu juga akan berpengaruh pada sifat mekanis logam (*brittle, ductile*, dsb). Maka dari itu sifat mekanis logam secara tidak langsung akan mempengaruhi ketahanan logam terhadap serangan korosi. Kekosongan atom-atom akan mempercepat korosi. Hal ini disebabkan oleh adanya difusi media korosi logam yang meningkat, sehingga media korosif akan masuk kedalam pori-pori struktur logam atau disebut *grain boundery*, larutan korosif dapat menembus sehingga menimbulkan *initial corrosion* [Fontana,1987].

- Pengaruh proses produksi terhadap proses terjadinya korosi.

Korosi adalah proses antara benda dan lingkungannya sehingga menimbulkan reaksi kimia, listrik, fisika, yang berakibat pada kerusakan produk. Dalam reaksi korosi tidak secara langsung, namun demikian banyak yang

diakibatkan oleh beberapa faktor sebelum terbentuk produk satuan proses yang dapat menimbulkan korosi, diantaranya :

- Proses panas (pengecoran, pemotongan dengan gas, pengelasan)
- Proses dingin (pemotongan dengan gergaji mechine, proses bending)

Perlakuan panas cenderung berakibat pada berubahnya sifat anodik terhadap barang yang dibuat. Semakin tinggi panas yang diberlakukan maka akan semakin mudah terserang korosi. Dengan perlakuan dingin korosi tetap akan terpengaruh, hal ini dikarenakan terjadinya penyimpangan bidang kristal sehingga memudahkan masuknya media korosif ke dalam konstruksi.

- Pengaruh Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan merupakan suatu media korosi yang dapat mempercepat terjadinya korosi. Aspek lingkungan ini berada pada area atau sekitar bahan logam tersebut. Adapun faktor yang mempengaruhi korosi dari aspek lingkungan ini yaitu: [Widharto, 1987].

- a. Adanya oksigen terlarut atau bahan oksidator yang lain yang mempengaruhi laju korosi yang terjadi.

Dalam hubungan dengan aktif pasif metal apabila *oxidizer* ditambahkan maka akan berakibat pada bertambahnya *Corrothion rate* , dengan bertambahnya *corrothion rate* tersebut maka tidak akan berakibat bertambahnya kecepatan korosi. Pada tingkat tertentu harga *corrothion rate* akan konstan dan apabila diadakan penambahan oxidizer lagi akan berakibat pada meningkatnya *corrothion rate* secara dramatik.

- b. Kecepatan media

Seperti hal nya penambahan *oxidizer* yang berpengaruh pada kecepatan media terhadap *corrothion rate* tergantung pada karakteristik logam dan lingkungan dimana benda tersebut berada. Ada tiga jenis karakteristik logam dengan hubungannya dengan kecepatan media yaitu :

- Jenis A : Proses korosi dikontrol oleh *katodik diffution* sehingga kecepatan media berpengaruh pada *corrothion rate*.
- Jenis B : Proses korosi dikontrol oleh *activation polarization* dan kecepatan tidak berpengaruh terhadap *corrothion rate*.

- Jenis C : beberapa logam mempunyai ketahanan korosi di dalam media tertentu, apabila agitasi diberikan pada larutan media, maka akan terjadi perilaku hubungan kecepatan dengan *corrothion rate*.

c. Garam Terlarut

Garam merupakan senyawa kimia yang bersifat pengoksida ataupun bersifat *pereduksi*, sehingga tingkatan kadar garamnya bisa sebanyak mungkin atau sekecil mungkin. Kadar garam yang terlarut dalam lingkungan sangat berpengaruh terhadap laju korosi, semakin tinggi kadar garam akan meningkatkan laju korosi, namun demikian berdasarkan teori *pasivitas*, pada garam tertentu yaitu dengan kadar garam tinggi laju korosi akan menurun. Kondisi tersebut dinamakan kondisi pasif sehingga larutan garam selain bisa bersifat *katalisator* juga bisa bersifat sebagai *inhibitor*.

d. Konsentrasi Gas

Selain garam terlarut, kondisi udara juga akan sangat berpengaruh terhadap proses korosi. Hal ini karena fase gas merupakan zat yang mudah bereaksi dengan senyawanya. Dengan menganalisa kandungan gas yang ada maka gas gas yang sangat berpengaruh harus dikurangi sekecil mungkin. Jenis gas yang sangat berpengaruh terhadap proses korosi adalah CO₂ dan O₂ selain itu ada jenis gas yang lain yang ikut berpengaruh, diantaranya NH₃, H₂S, Cl₂ dan H₂. Gas-gas tersebut bersifat katalisator terhadap proses korosi.

e. Aksi dari Bakteri Anaerobik

Secara toritis apabila tidak terdapat zat asam, maka laju pengkaratan pada baja relatif lambat, namun pada kondisi-kondisi tertentu ternyata laju pengkaratan sangatlah tinggi sekali. Setelah diteliti ternyata daerah tersebut hidup bakteri yaitu bakteri *anaerobic* yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat asam. Bakteri ini mengubah (*reducing*) garam sifat menjadi asam yang reaktif dan menyebabkan karat (*rust*). Bakteri ini lazim disebut *sulfate reducing bacteria*, dan jenisnya adalah *sporovibrio desulfuricans* [Widharto, 1987]. Bakteri anaerobik berfungsi sebagai *depolizer*. Depolizer dalam elektrokimia menurut definisi dari IUPAC (*internasional Union of pure and Applied chemistry*) adalah sinonim dari zat elektroaktif, yaitu suatu zat yang mengubah bilangan oksidasi, atau mengambil

bagian dalam formasi atau terputusnya ikatan kimia, dalam mentransfer biaya langh dari reaksi elektrokimia.

f. Temperatur

Faktor yang terpenting dalam pengkaratan selain faktor polusi adalah faktor kelembapan atau temperatur udara yang rendah dimana dapat menyebabkan titik embun (*dew point*) atau kondensasi. Kondensasi dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor cuaca yang relatif dingin dan faktor udara yang relatif tinggi (diatas 80%). Tingginya pengkaratan juga dapat dipengaruhi oleh temperatur yang berubah-ubah atau dengan kata lain kelembapan *cyclic*.

g. Kadar Keasaman (pH)

Kecepatan korosi relatif konstan pada pH antara 4-10. Pada pH kurang dari asam menyebabkan terjadinya pelepasan hidrogen pada beberapa kondisi asam khususnya yang mengandung sulfida, hidrogrn yang terjadi akan terdistribusikan ke dalam baja dan menyebabkan *blistering* pada baja yang berkekuatan rendah (*low strength steel*) dan *cracking* pada baja kuat (*high strength steel*). Pada Ph di atas 10 kecepatan korosi menurun, garam terlarut secara umum menambah korosi kerana garam ini dapat meningkatkan konduktifitas larutan.

h. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran juga bisa menyebabkan terjadinya korosi yang disebabkan oleh pergolakan air laut menyebabkan hancurnya lapisan pelindung apalagi kalau aliran larutan tersebut mengandung pertikel-partikel padat. Selain itu benturan-benturan mempercepat penetrasi, sedangkan peronggaan memperbanyak bagian permukaan baja yang tersingkap korosi berlanjut. Namun pada sisi lain, yaitu secara elektrokimia pada kecepatan tertentu kecepatan aliran bisa mengganggu konsistensi dari reaksi korosi dan hal ini bisa menurunkan laju korosi. Jika hal tersebut berlanjut bisa mengakibatkan korosi erosi yang diawali dengan rusaknya lapisan film logam yang selanjutnya permukaan logam akan mengalami kerusakan.

i. Pengotoran Biologis

Menempelnya hewan-hewan berkulit keras cenderung meredakan serangan korosi karena menghambat masuknya oksigen. Dalam keadaan lain

dimana yang menempel sedikit dan terisolasi justru bisa menyebabkan korosi lubang akibat aerasi diferensial di bawah yang menempel tersebut.

2.9.11. Persamaan Laju Korosi

Laju korosi adalah peristiwa merambatnya proses korosi yang terjadi pada suatu material. Pada beberapa pengujian korosi sebagian besar yang dilakukan adalah laju korosi. Hal ini disebabkan laju korosi berkaitan erat dengan nilai ekonomis dan teknis material. Laju korosi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap korosi dan material sehingga senantiasa dapat diperkirakan kapan material tersebut dinyatakan layak dan kapan tidak layaknya. Satuan yang digunakan adalah *mpy* (*mils per year*).

Ketahanan terhadap korosi umumnya nilai laju korosi antara 1-200 *mpy*. Dapat dilihat tabel dibawah yang menggolongkan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosi [Fontana1987].

Konversi :

$$1 \text{ mpy} = 0.0254 \text{ mm/yr} = 25.4 \text{ } \mu\text{m/yr} = 2.90 \text{ mm/hr} = 0.805 \text{ } \mu\text{m/sec}.$$

Tabel. 2.3. Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi [Fontana1987].

Relative corrosion resistance	Approximate metric equivalent				
	<i>mpy</i>	<i>mm/yr</i>	$\mu\text{m/yr}$	<i>mm/hr</i>	<i>Pm/sec</i>
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 – 5	0.02 – 0.1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Good	5 – 20	0.1 – 0.5	100 – 500	10 – 50	5 – 20
Fair	20 – 50	0.5 – 1	500 -1000	50 – 100	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
Unacceptable	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

Sumber : Fontana, 1987.

Menghitung laju korosi pada umumnya menggunakan 2 cara yaitu :

1. Metode kehilangan berat
2. Metode Elektrokimia

- **Metode Kehilangan Berat**

Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus berdasarkan pada ASTM G1-90 vol 3.2 2004 sebagai berikut :

$$Mpy = \frac{534 \cdot W}{DAT \cdot D \cdot A \cdot T} \quad (2.1)$$

Dengan mpy = mils per year (seper seribu inci per tahun)

W = berat yang hilang (mg)

D = massa jenis spesimen (g/cm³)

A = luas spesimen (in)

T = waktu yang diperlukan (hour)

Metode ini mengukur kembali berat awal dari benda uji (objek yang ingin diketahui laju korosi yang terjadi padanya), kekurangan berat dari berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan laju kehilangan beratnya.

Metode ini bila dijalankan dengan waktu yang lama dan suistainable dapat dijadikan acuan terhadap kondisi tempat objek diletakkan (dapat diketahui seberapa korosif daerah tersebut) juga dapat dijadikan referensi untuk treatmen yang harus diterapkan pada daerah da kondisi tempat objek tersebut.

- **Metode Elektrokimia**

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan menggunakan beda potensial objek hingga didapat lau korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimanan memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjag (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan waktu lainnya berbeda). Kelemahan metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat karena hanya dapat mengukur laju korosi pada waktu tertetu saja, sehingga secara umur pemakaian maupun kondisi untuk dapat ditreatment tidak dapat diketahui.

Kelebihan metode ini adalah kita dapat langsung mengetahui laju korosi pada saat di ukur, hingga waktu pengukuran tidak membutuhkan waktu yang lama.

Metode elektrokimia ini menggunakan rumus yang didasari pada hukum faraday (ASTM G1-90 vol 3.2 2004) yaitu menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Dengan laju korosi} = K \frac{a i}{n D} \text{ mpy} \quad [\text{Fontana 1987}] \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

K = Konstanta (0.129 mpy)

a = berat atom logam terkorosi

i = kecepatan ($\mu A/cm^2$)

n = jumlah elektron valensi logam terkorosi

D = density logam terkorosi (gr/cm^3)

Metode ini menggunakan perbandingan dengan meletakkan salah satu material dengan sifat korosif yang sangat baik dengan bahan yang akan diuji hingga beda potensial yang terjadi dapat diperhatikan dengan adanya pembanding tersebut.

2.9.12. Sel Tiga Elektroda

Sel tiga elektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan. Sel tiga elektroda merupakan penyempurnaan dari sel korosi. Sel ini dapat digunakan dalam berbagai macam percobaan korosi [Trethewey, 1991].

Pengujian laju korosi dengan menggunakan sel tiga elektroda merupakan pengujian laju korosi yang dipercepat dengan polarisasi dan potensial korosi bebasnya. Dari percobaan ini akan di peroleh data besarnya arus untuk setiap tegangan. Data tersebut untuk mengeplot diagram tafel yang kemudian dapat digunakan untuk harga i_o yang besarnya sama dengan i_{kor} . [Susilo, 2009]

2.9.13. Komponen Sel Tiga Elektroda

Dalam perangkat percobaan sel tiga elektroda ini terdiri dari beberapa komponen, komponen-komponen tersebut memiliki fungsi yang berbeda, adapun komponennya adalah sebagai berikut :

1. Elektroda Kerja

Elektoda kerja adalah elektroda yang akan diteliti, istilah elektroda digunakan sebagai ganti dari anoda.

2. Elektroda Pembantu

Elektoda pembantu adalah sebutan yang digunakan untuk elektroda kedua yang memiliki fungsi untuk mengangkat arus dalam rangkaian penelitian. Elektroda ini tidak diperlukan untuk pengukuran potensial. Bahan yang sering digunakan adalah sebatang karbon, tetapi dapat menggunakan bahan lain asalkan tidak menimbulkan kontaminasi ion-ion ke dalam elektrolit. Bahan lain yang dapat digunakan diantaranya adalah platina dan emas, terutama bila semua komponen berukuran kecil.

3. Elektroda Acuan

Elektroda acuan adalah elektroda yang digunakan sebagai titik dasar yang baik untuk acuan pengukuran potensial dari elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil kecilnya sehingga dapat diabaikan. Bila tidak demikian, elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak lagi konstan. Oleh karena itu elektoda pembantu dibutuhkan. Sejauh ini elektroda acuan yang paling praktis adalah elektroda kolomel jenuh (*dummy*).

4. Sumber potensial

Sumber potensial memiliki fungsi sebagai penggerak kerja sehingga reaksi sel yang dikehendaki berlangsung. Instrumen yang digunakan adalah Autolab potentiostat dengan tipe PGSTAT30. Merupakan potensial atau galvanastat yang dapat mengukur dan menghasilkan arus listrik maksimal 250 mA dengan potensial listrik 100 Volt. Instrumen tersebut sering digunakan untuk meneliti korosi. Potensiotat memberikan potensial yang telah ditentukan dahulu kepada elektroda kerja sehingga pengukuran arus sel dapat dilakukan. Proses ini dilakukan dengan cara mengubah arus yang melalui elektroda pembantu ke suatu harga yang sedemikian sehingga beda potensial antara elektroda kerja dan elektroda acuan tidak berubah. Pada seerangkat autolab potentiostat sudah dilengkapi dengan alat

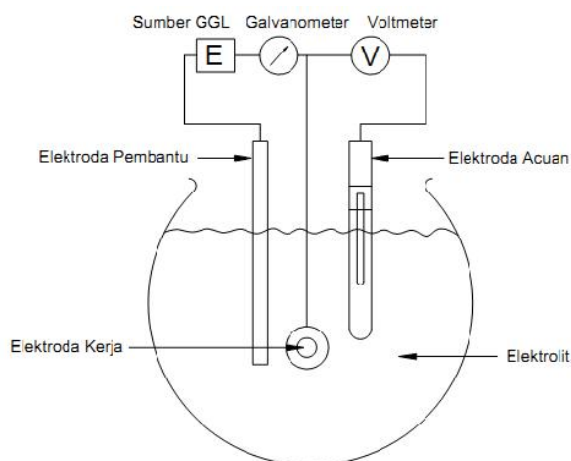
pengukur arus dan pengukur potensial yang terletak menjadi satu dengan sumber tegangan ini. Terdapat layar yang menunjukkan besar potensial dan arus selama melakukan pengujian.

5. NOVA

NOVA merupakan *software* yang didesain dalam satu paket untuk mengontrol semua instrumen Autolab dengan disambungkan ke computer menggunakan USB (*Universal Serial Bus*). Dengan NOVA, pengujian tidak hanya menggunakan metode elektrokimia tetapi juga bisa mendesain sendiri metode elektrokimia tersebut pada saat pembentukan diagram tafel. Dengan *software* NOVA tidak hanya dapat diketahui i_{kor} tetapi juga secara otomatis mengeluarkan nilai laju korosi. Hanya dengan memasukkan luas permukaan yang diuji, nilai-nilai penting dalam pengujian ini akan dapat diketahui.

6. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan sebanyak 1 (satu) liter. Larutan elektrolit harus dipilih dengan cermat karena larutan elektrolit berfungsi sebagai pengangkut arus ionik sehingga memainkan peranan penting sekali dalam reaksi reaksi korosi.



Gambar 2. 26. Pengujian Sel tiga elektroda.
Sumber : Susilo, 2009

2.9.14. Larutan Pengkorosif HCl

Asam klorida adalah Asam yang paling mahal dan paling banyak digunakan sebagai media korosif pada baja. Konsentrasi dan suhu bervariasi dari 5 sampai 15% dan 50 sampai 80 ° C (120-175 ° F). Asam klorida merupakan asam

yang sangat korosif, bahkan dengan kadar yang berjumlah kecil dapat menyebabkan korosi dari logam biasa dan paduan. Pada baja paduan austenitik, larutan HCl cenderung merugikan. Kehadiran ion klorida meningkatkan kemungkinan serangan lokal, misalnya, korosi celah, pitting, dan stres-korosi retak. Asam klorida dikenal dengan asam yang mempunyai konsentrasi PH rendah yaitu $PH < 5$. Dengan konsentrasi PH tersebut asam klorida dapat mempercepat laju korosi. [ASM Metal Handbook Vol. 13, 1993].

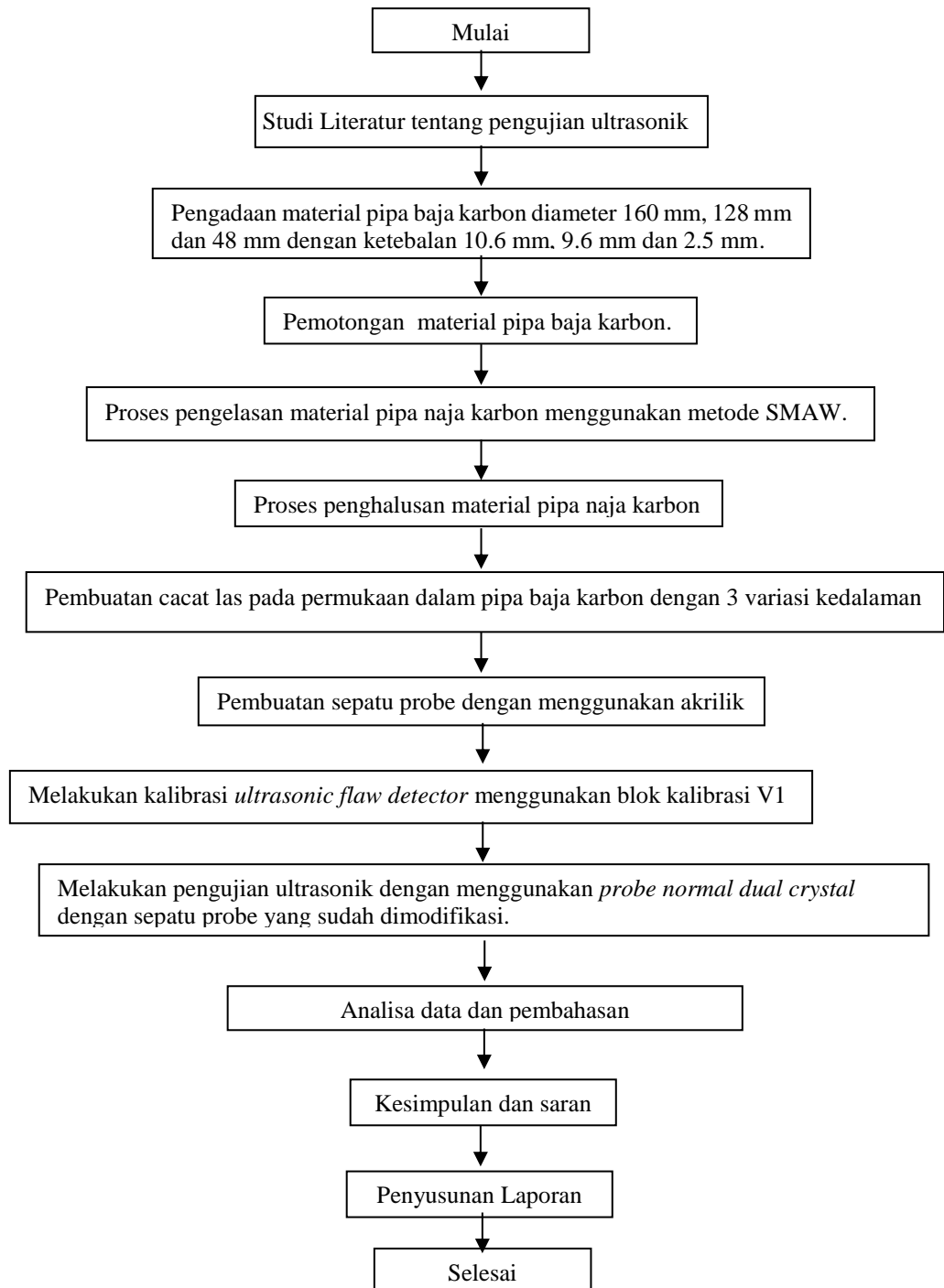
Pada penelitian ini menggunakan larutan HCL karena material cladding diasumsikan untuk mengangkut HCL pada kapal chemical tanker.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian Tugas Akhir ini, dibentuk sebuah penelitian sebagai gambaran garis besar tahapan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Berikut ini adalah diagram alir penelitian tersebut.



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian.

3.1. Pengadaan Material

Material yang digunakan untuk penelitian Tugas Akhir ini menggunakan material pipa baja karbon biasa dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Pipa baja karbon berdiameter 48 mm, tebal 2.5 mm sebanyak 1 buah.
- b. Pipa baja karbon berdiameter 128 mm, tebal 9.6 mm sebanyak 1 buah.
- c. Pipa baja karbon berdiameter 160 mm, tebal 10.6 mm sebanyak 1 buah.



Gambar 3. 2. Material pipa baja karbon yang digunakan untuk penelitian.

3.2. Proses Pemotongan

Pipa baja karbon dipotong secara melintang dengan menggunakan mesin potong baja. Tujuan dari pemotongan material pipa baja karbon ini untuk dilakukan penyambungan kembali dengan menggunakan las SMAW dan kemudian dilakukan penelitian tentang studi penentuan sisa ketebalan material di permukaan dalam pipa baja karbon akibat korosi pada sambungan las di kapal. Berikut ini merupakan gambar dokumentasi dari pemotongan material pipa baja karbon.



Gambar 3. 3. Proses pemotongan material pipa baja karbon.

3.3. Proses Pengelasan

Proses pengelasan bertujuan untuk menyambungkan antara dua pipa baja karbon dengan spesifikasi prosedur pengelasan adalah sebagai berikut:

- *Welding process : Shield Metal Arc Welding (SMAW)*
- *Type : Manual*
- *Filler Metal : LB 52*
- *Diameters : 2.6 mm*
- *Welding position : 5 G*
- *Current (AC or DC) : DC*
- *Polarity : DCEP*
- *Amperage (Range) : 80 – 120 Ampere*
- *String or Weave Bead : Both*
- *Initial and Interpass Cleaning : Chipping, Brushing and Grinding*
- *Travel of Speed : 50 – 100 mm/minute*

Namun sampai pada tahapan ini material yang dihasilkan masih belum sempurna untuk dijadikan spesimen uji yang sebenarnya, disebabkan masih banyak daerah yang kasar maupun tajam atau daerah yang terkena *spatter* dari hasil lasan sehingga, dibutuhkan tahapan selanjutnya untuk menghilangkan hal-hal tersebut, yaitu menggunakan gerinda untuk menghilangkan bagian-bagian kasar pada permukaan material serta menghaluskan bagian-bagian tajam ada setiap ujung sisi spesimen uji, mesin gerinda yang digunakan dalam hal ini adalah Bosch tipe 7-100 *professional*, dengan mata gerinda yang memiliki spesifikasi A 46S BF ukuran 105 x 2 x 16 merk Nippon Resibon.



Gambar 3. 4. Hasil pengelasan SMAW pada material pipa baja karbon.

3.4. Proses Penghalusan

Untuk mendapatkan bentuk las yang seragam agar dapat dijangkau oleh probe normal dengan sepatu modifikasi saat dilakukan pengujian ultrasonik. Pada kampuh las yang terdapat takikan dilakukan penambalan dengan menggunakan las SMAW.



Gambar 3. 5. Material pipa baja karbon setelah dilakukan proses penghalusan

3.5. Pembuatan Cacat Buatan

Material uji yang telah dilas dan dibersihkan dari semua bekas lasan maupun kotoran yang menempel selanjutnya diberikan cacat buatan dengan menggunakan sebuah mesin gerinda pada bagian root. Setelah dibuat kedalaman cacat kemudian diukur menggunakan *welding gauge* sebagai verifikasi kedalaman cacat tersebut.

3.6. Pembuatan sepatu probe

Sepatu *probe* boleh dimodifikasi mengikuti kelengkungan material asal ketebalan sepatu *probe* tidak melebihi 3 mm agar tidak mengubah sudut masuk dari *probe*. Berikut proses modifikasi sepatu *probe* :

1. Siapkan *probe* yang akan dipakai dalam pengujian.
2. Siapkan akrilik
3. Ukur akrilik sesuai dengan diameter *probe*.
4. Pasang kertas gosok yang paling kasar pada permukaan las material.
5. Gosokkan akrilik pada permukaan las material yang telah diberi kertas gosok hingga akrilik membentuk sesuai dengan bentuk kampuh las.

6. Setelah akrilik terbentuk sesuai dengan bentuk kampuh las gosok bagian atas akrilik hingga mencapai ketebalan maksimal 3 mm.
7. Kemudian beri lem alteco pada permukaan akrilik dan pasang pada *probe*. Tekan dengan kuat agar lem tersebar dengan merata.



Gambar 3. 6. Probe dengan sepatu yang dimodifikasi

3.7. Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan :

- a. *Ultrasonic Flaw Detector*
- b. *Couplant*
- c. *Probe normal dual crystal* yang sepatunya sudah dimodifikasi
- d. Blok kalibrasi V1

3.7.1. *Ultrasonic Flaw Detector*

Ultrasonic Flaw Detector yang dipakai pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Merk : SIUI

Model : CTS-9005



Gambar 3. 7. *Ultrasonic Flaw Detector* SIUI CTS-9005

3.7.2. *Couplant*

Couplant yang digunakan adalah *bearing grease* (gemuk)



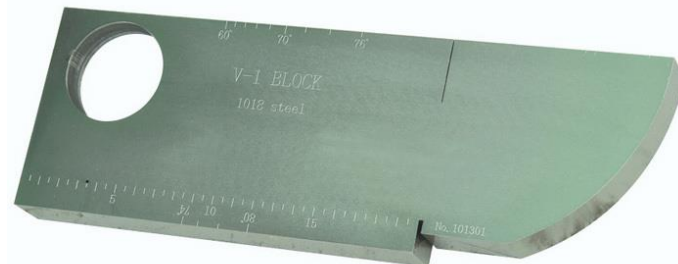
Gambar 3. 8 *bearing grease*

3.7.3. *Probe*

Probe yang digunakan pada penelitian ini berjenis *normal probe dual crystal* berdiameter 10 mm dan 14 mm. Dikarenakan *probe* masih memiliki sepatu standar untuk pengujian material permukaan datar, maka terjadi kesusahan dalam pengujian untuk permukaan yang melengkung. Oleh karena itu dibutuhkan pemodifikasian sepatu probe agar probe lebih stabil pada permukaan melengkung yang akan dijelaskan pada sub-bab 3.2.3.1.

3.7.4. Blok Kalibrasi V1

Blok kalibrasi yang digunakan pada penelitian ini adalah blok kalibrasi V1.



Gambar 3. 9. Blok kalibrasi V1.

3.8. Proses Pemeriksaan

Pada Tugas Akhir ini proses pemeriksaan material terdapat dua tahapan yaitu proses kalibrasi peralatan yang akan dibahas lebih detail pada sub-bab 3.3.1 dan proses penentuan kedalaman cacat material uji yang akan dibahas lebih detail pada sub-bab 3.3.2.

3.8.1. Kalibrasi Peralatan

Berikut adalah urutan proses kalibrasi untuk probe normal :

1. Memasukkan *velocity* untuk gelombang shear di material baja karbon di UTFD sebesar 3290 m/s
2. *Setting* sudut 0^0 untuk *probe* normal.
3. Masukkan besar *x-value* dan *exit point* 0 mm karena probe normal.
4. Pada tab *crystal* pilih *dual* karena menggunakan *normal probe dual crystal*.
5. Setting ketebalan 25 mm sesuai dengan ketebalan blok kalibrasi V1
6. *Scan* material kemudian atur *zero value* sampai hasil *scan* menunjukkan angka yang sama dengan ketebalan blok kalibrasi yaitu 25 mm.
7. Ulangi langkah di atas untuk proses kalibrasi probe yang berbeda.

3.8.2. Menentukan Kedalaman Cacat

Berikut adalah urutan untuk menentukan kedalaman cacat material uji :

1. *Scan* material secara memutar sampai menemukan indikasi.
2. Cari pulsa tertinggi pada permukaan yang di bawahnya terdapat cacat buatan.
3. Catat ukuran yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector*.

3.8.3. Menentukan Sisa Ketebalan Material

Sisa ketebalan material pipa baja karbon dapat diketahui dengan mengurangi ketebalan awal material pipa baja karbon dengan kedalaman cacat buatan. Kemudian sisa ketebalan material pipa sebenarnya dibandingkan dengan hasil pembacaan sisa ketebalan material pipa oleh *ultrasonic flaw detector* tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

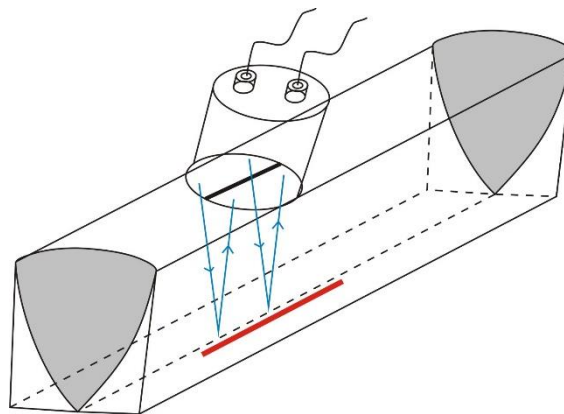
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan disajikan analisa dan pembahasan dari hasil pengujian ultrasonik yang telah dilaksanakan sebelumnya. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi kedalaman cacat buatan pada material uji dan variasi arah bidang pemisah kristal *probe*. Pembahasan lebih detailnya adalah sebagai berikut :

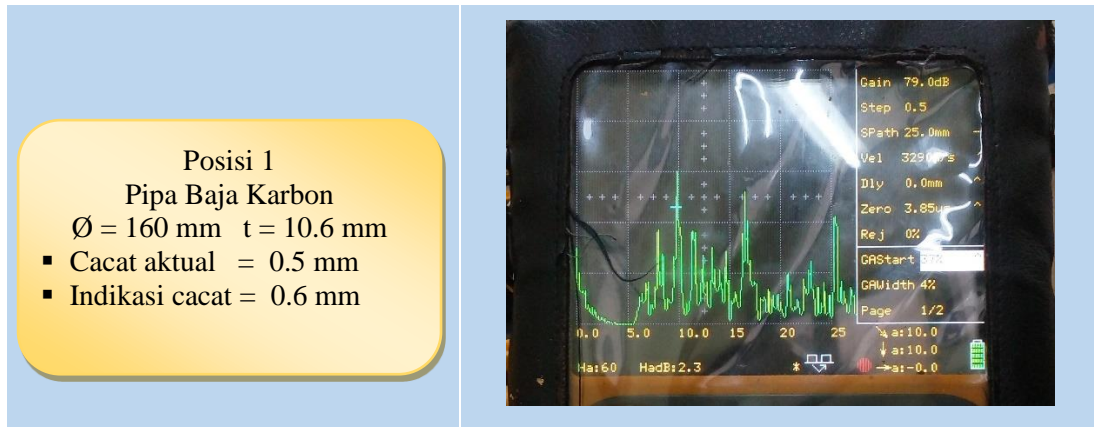
1. Variasi kedalaman cacat buatan pada setiap material uji.
 - 0.5 mm
 - 1.5 mm
 - 2.0 mm
2. Variasi arah kristal *probe*.
 - Sejajar dengan arah las
 - Tegak lurus dengan arah las
3. Pengujian dilakukan dengan kondisi cacat berada di samping *root*.

4.1. Pengujian Ultrasonik dengan Arah Bidang Pemisah Kristal Probe yang Searah dengan Sumbu Las

Berikut data dari hasil pengujian ultrasonik *normal probe dual crystal* dengan arah bidang pemisah kristal *probe* searah dengan sumbu las :

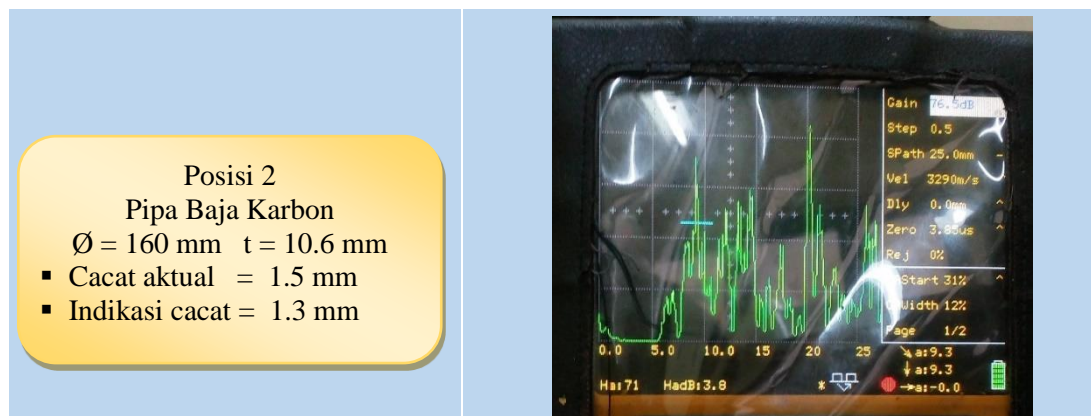


Gambar 4. 1. Ilustrasi *scanning* ultrasonik dengan arah bidang pemisah kristal *probe* yang searah dengan sumbu las



Gambar 4. 2. Indikasi pada pipa $\varnothing 160 \text{ mm}$ dengan kedalaman cacat 0.5 mm.

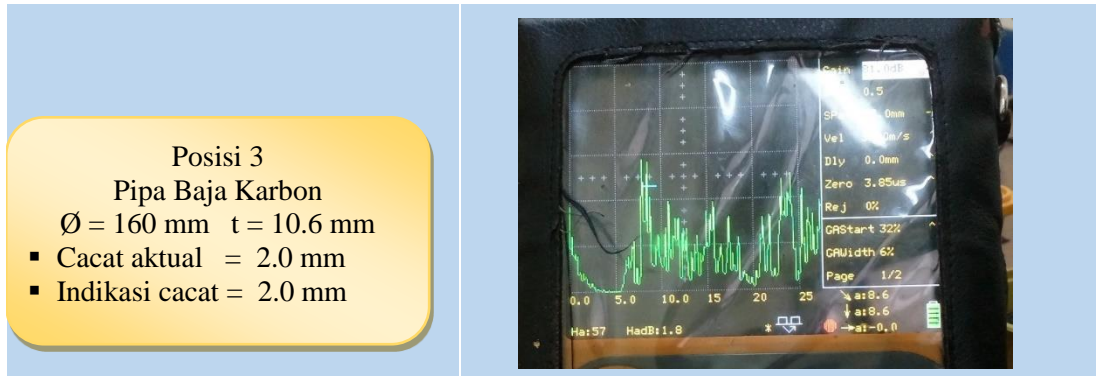
Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 160 mm dengan tebal 10.6 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 10.0 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 0.6 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 160 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 10.0 mm.



Gambar 4. 3. Indikasi pada pipa $\varnothing 160 \text{ mm}$ dengan kedalaman cacat 1.5 mm.

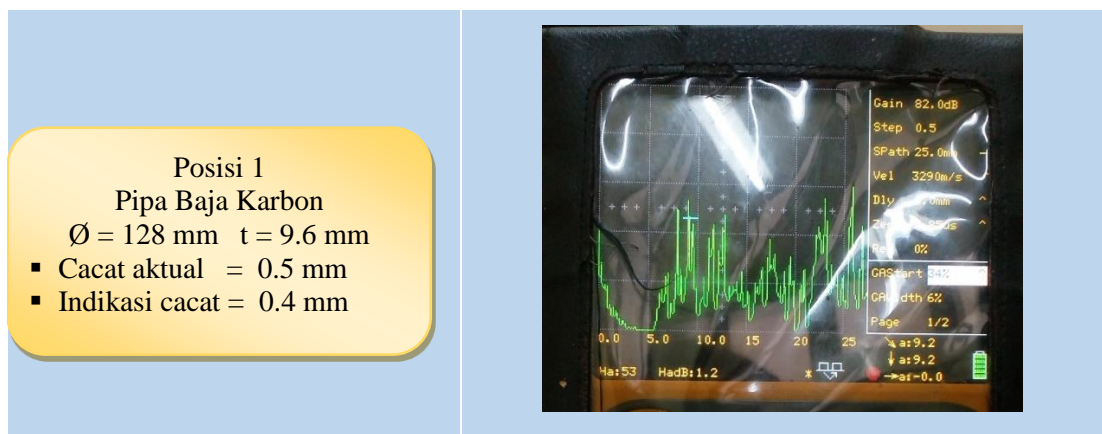
Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 160 mm dengan tebal 10.6 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 9.3 mm. Cacat yang dideteksi oleh

ultrasonic flaw detector adalah sebesar 1.3 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 160 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 9.3 mm.



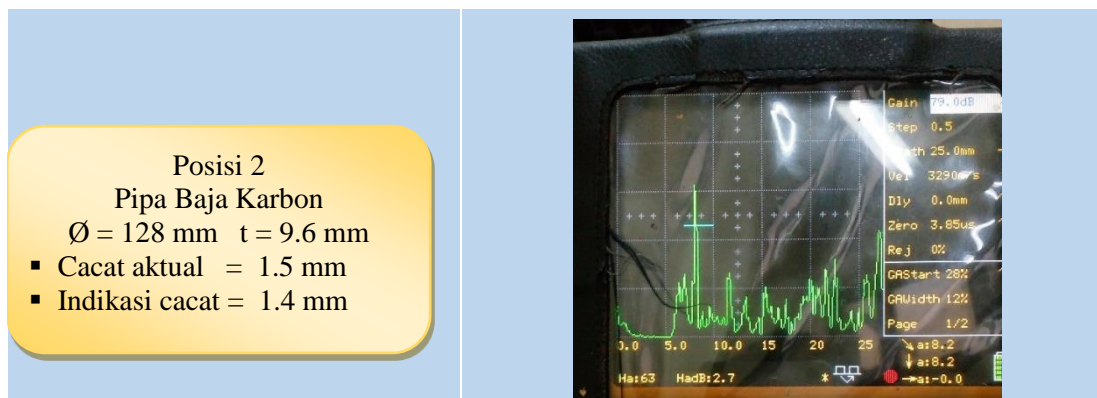
Gambar 4. 4. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 160 mm dengan tebal 10.6 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 8.6 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 2.0 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 160 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 8.6 mm.



Gambar 4. 5. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 128 mm dengan tebal 9.6 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 9.2 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 0.4 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 128 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 9.2 mm.



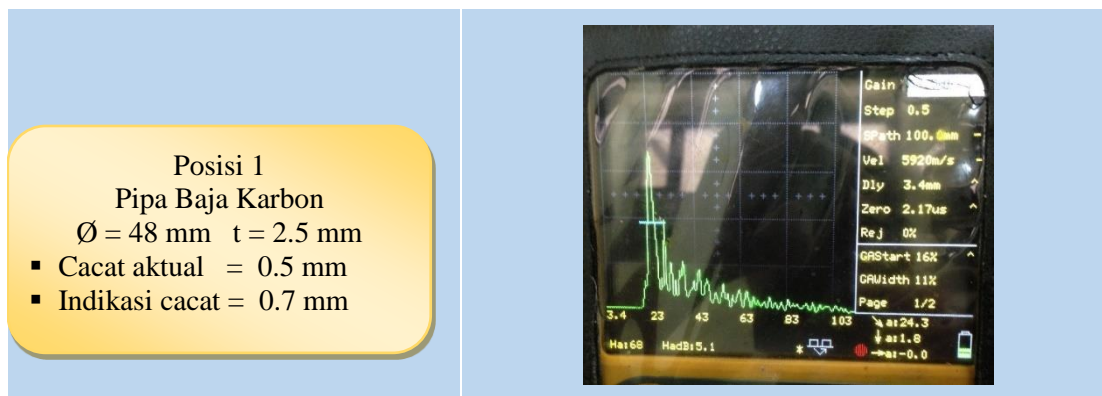
Gambar 4. 6. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 128 mm dengan tebal 9.6 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 8.2 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 1.4 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 128 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 8.2 mm.



Gambar 4. 7. Indikasi pada pipa $\varnothing 128 \text{ mm}$ dengan kedalaman cacat 2.0 mm.

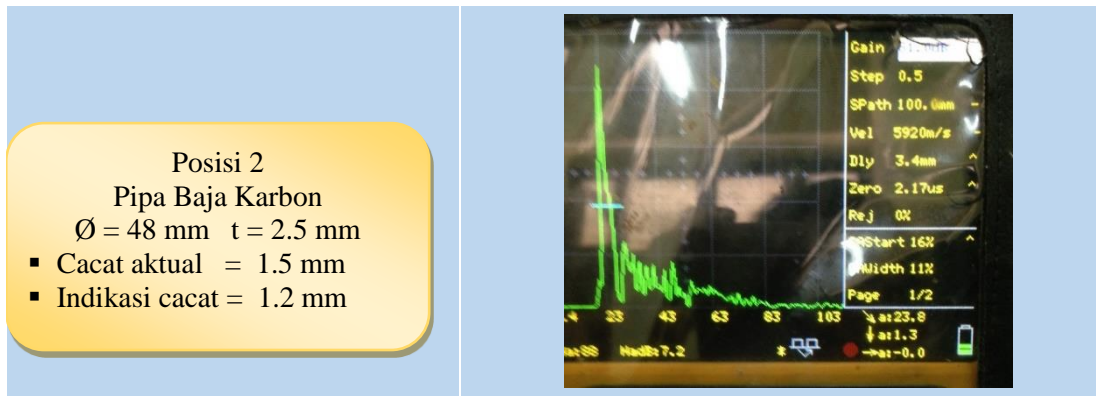
Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 128 mm dengan tebal 9.6 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 7.9 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 1.7 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 128 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 7.9 mm.



Gambar 4. 8. Indikasi pada pipa $\varnothing 48 \text{ mm}$ dengan kedalaman cacat 0.5 mm.

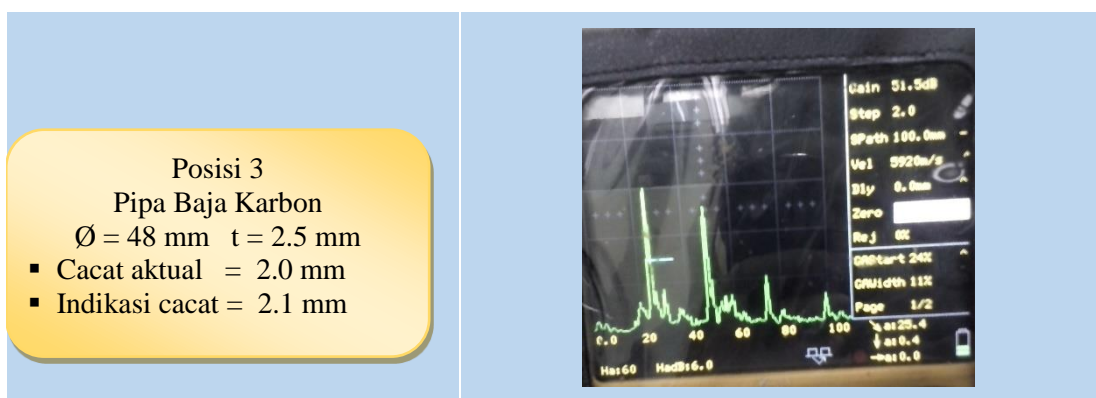
Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 48 mm dengan tebal 2.5 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm

didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 1.8 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 0.7 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 48 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 1.8 mm.



Gambar 4. 9. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 48 mm dengan tebal 2.5 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 1.3 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 1.2 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 48 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 1.3 mm.



Gambar 4. 10. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 48 mm dengan tebal 2.5 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 0.4 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 2.1 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 48 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 0.4 mm.

4.2. Analisis Kemampuan Pembacaan *Ultrasonic Flaw Detector* dengan Arah Bidang Pemisah Kristal *Probe* yang Searah dengan Sumbu Las

Dari pengujian ultrasonik probe normal kristal dua dengan menggunakan sepatu probe modifikasi didapatkan hasil sisa ketebalan material pipa baja karbon seperti pada tabel berikut ini :

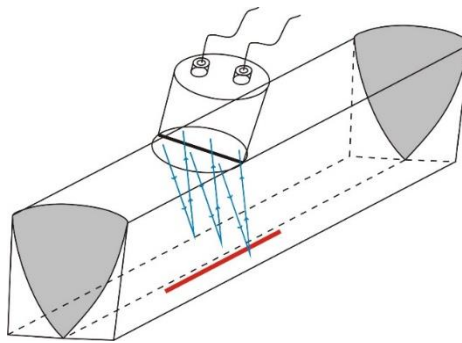
Tabel 4. 1. Hasil pengujian ultrasonik dengan arah bidang pemisah kristal *probe* searah dengan sumbu las.

N o	Diameter Material Uji	Ketebalan Material	Sisa Ketebalan Material	Hasil Intepretasi Sisa Ketebalan Material	Tingkat Akurasi Pembacaan	Rata- rata Tingkat Akurasi Per Diameter
1.	160 mm	10.6 mm	10.1 mm	10.0 mm	99.01 %	98.94 %
2.			9.1 mm	9.3 mm	97.80 %	
3.			8.6 mm	8.6 mm	100.00 %	
4.	128 mm	9.6 mm	9.1 mm	9.2 mm	98.90 %	97.91 %
5			8.1 mm	8.2 mm	98.77 %	
6.			7.6 mm	7.9 mm	96.05 %	
7.	48 mm	2.5 mm	2.0 mm	1.8 mm	90.00 %	85.56 %
8.			1.5 mm	1.3 mm	86.67 %	
9.			0.5 mm	0.4 mm	80.00 %	

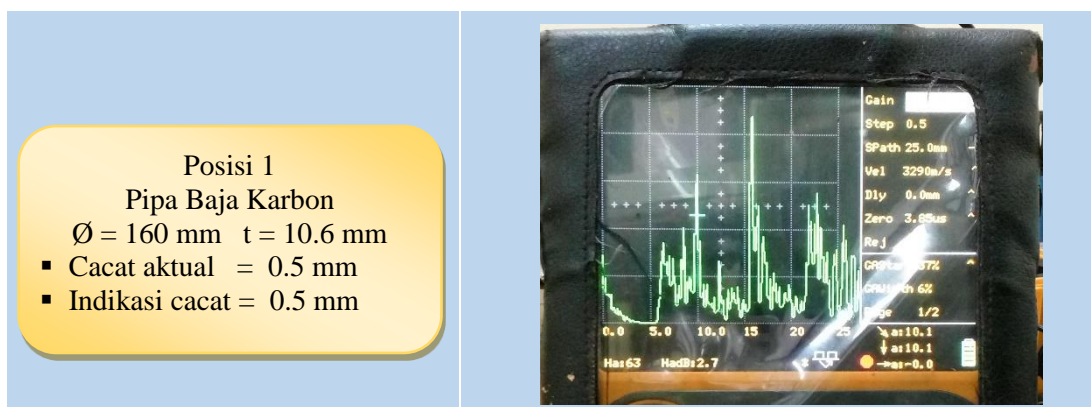
Berdasarkan tabel 4.1. pada pipa berdiameter 160 mm mempunyai tingkat akurasi pembacaan cacat 98.94%, pada pipa berdiameter 128 mm mempunyai tingkat akurasi pembacaan cacat 97.91% dan pada pipa berdiameter 48 mm mempunyai tingkat akurasi pembacaan 85.56%. Jadi semakin besar diameter pipa maka akan semakin bagus tingkat akurasi pembacaan cacatnya

4.3. Pengujian Ultrasonik dengan Arah Bidang Pemisah Kristal Probe yang Tegak Lurus dengan Sumbu Las

Berikut data dari hasil pengujian ultrasonik *normal probe dual crystal* dengan arah bidang pemisah kristal *probe* searah dengan sumbu las :



Gambar 4. 11. Ilustrasi *scanning* ultrasonik dengan arah bidang pemisah kristal *probe* yang tegak lurus dengan sumbu las



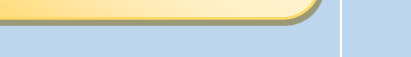
Gambar 4. 12. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil

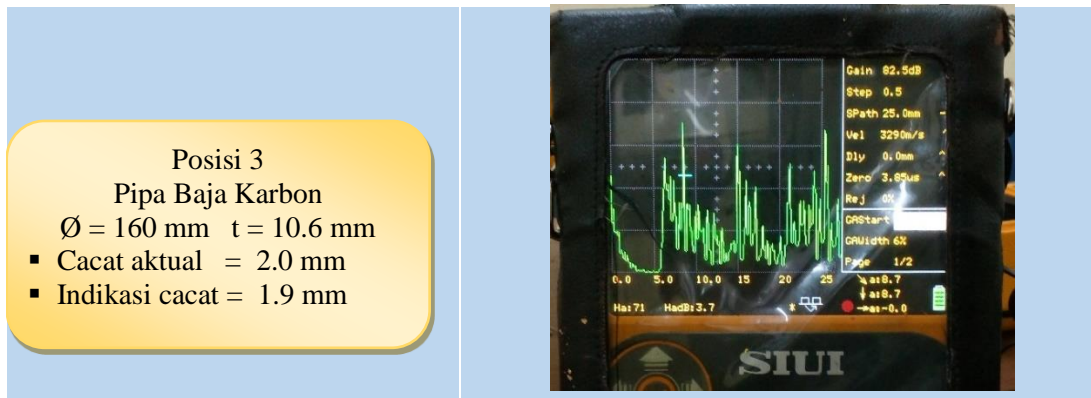
Posisi 2

Pipa Baja Karbon
 $\varnothing = 160 \text{ mm}$ $t = 10.6 \text{ mm}$

- Cacat aktual = 1.5 mm
- Indikasi cacat = 1.5 mm

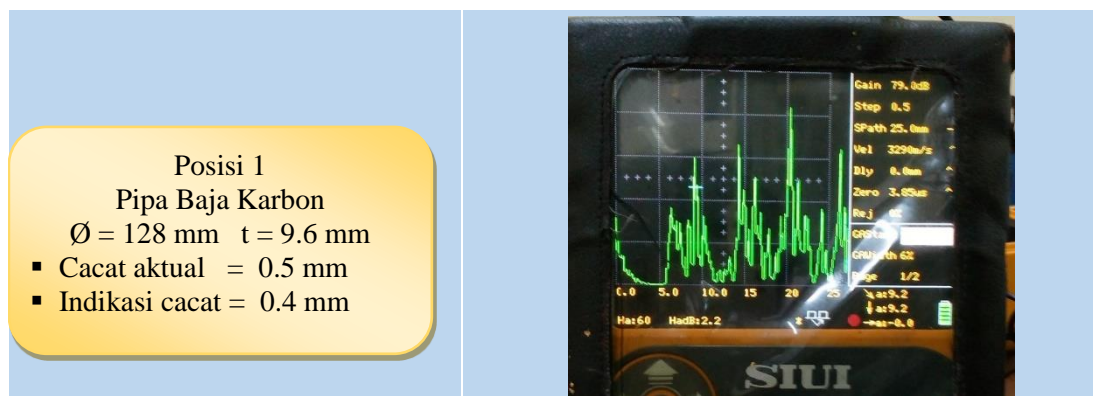


Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Probe tersebut dibuatlah seperti modifikasi dengan menggunakan akrilik agar mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa diameter 160 mm dengan tebal 10.6 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm akan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 9.1 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 1.5 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa karbon diameter 160 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar



Gambar 4. 14. Indikasi pada pipa Ø 160 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm.

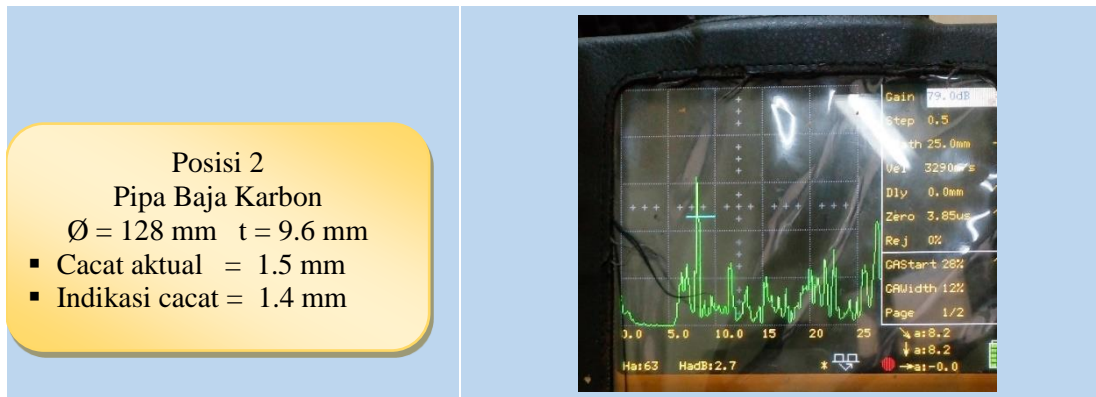
Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 160 mm dengan tebal 10.6 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 8.7 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 1.9 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 160 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 8.7 mm.



Gambar 4. 15. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm.

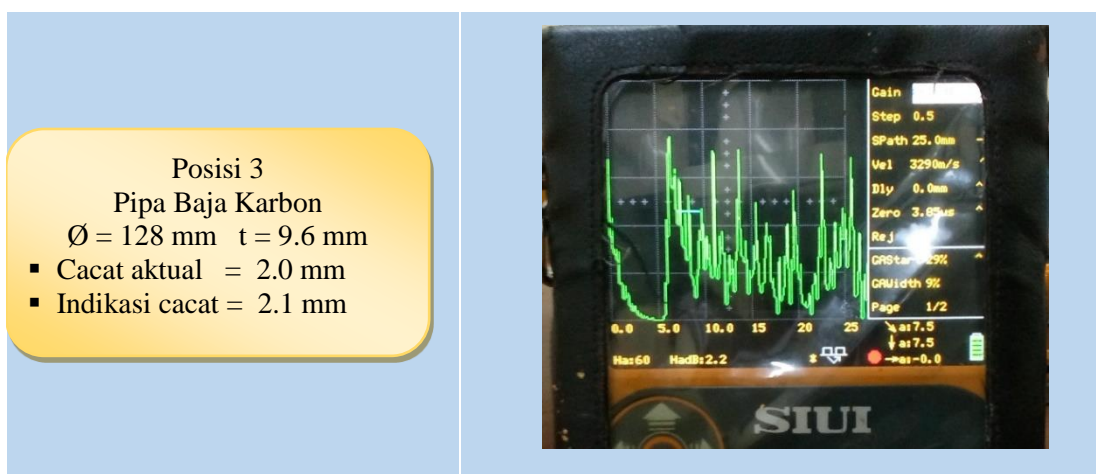
Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 128 mm dengan tebal 9.6 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm

didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 9.2 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 0.4 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 128 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 9.2 mm.



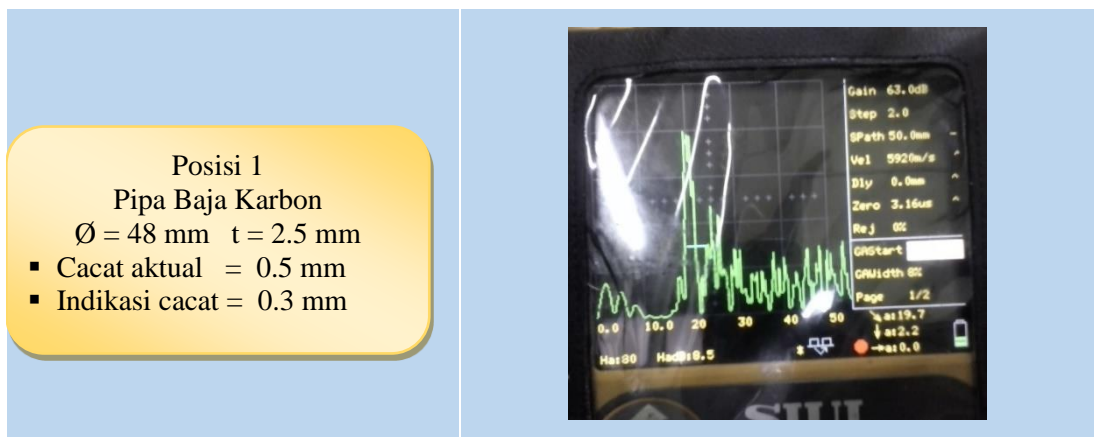
Gambar 4. 16. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 128 mm dengan tebal 9.6 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 8.2 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 1.4 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 128 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 8.2 mm.



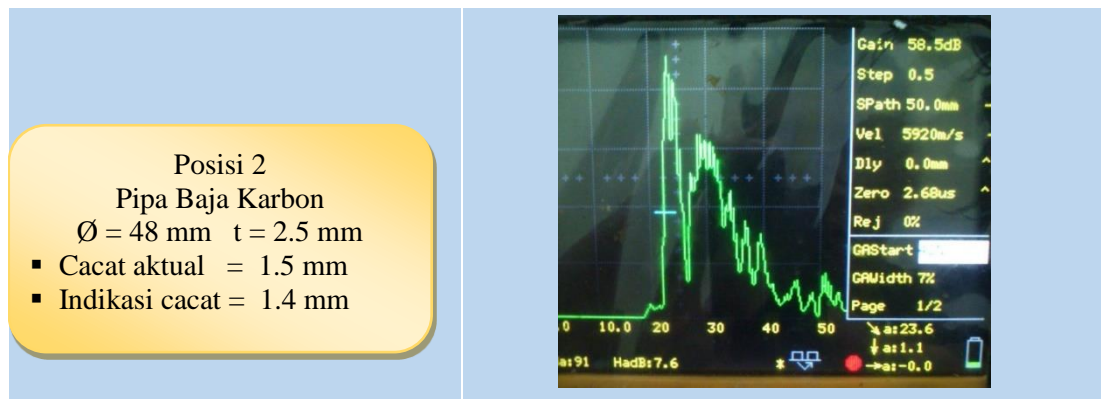
Gambar 4. 17. Indikasi pada pipa Ø 128 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 128 mm dengan tebal 9.6 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 7.5 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 2.1 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 128 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 7.5 mm.



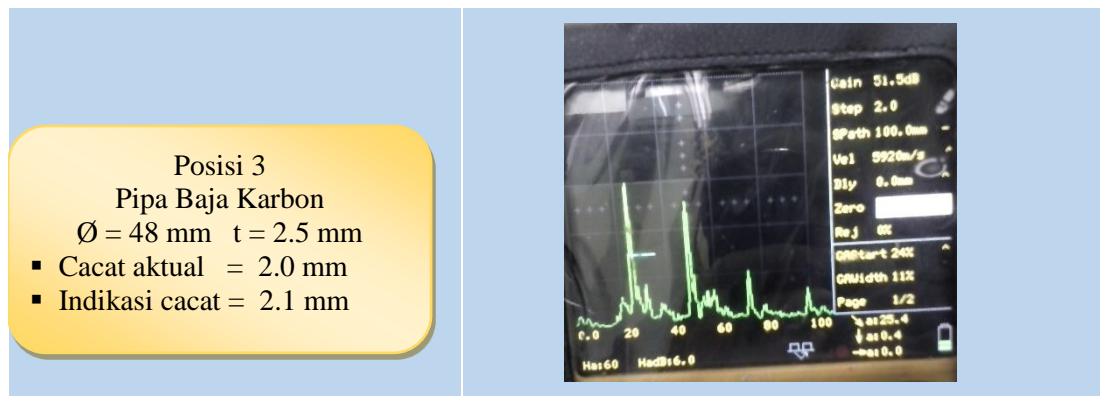
Gambar 4. 18. Indikasi pada pipa $\varnothing 48 \text{ mm}$ dengan kedalaman cacat 0.5 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 48 mm dengan tebal 2.5 mm dengan kedalaman cacat 0.5 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 2.2 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 0.3 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 48 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 2.2 mm.



Gambar 4. 19. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 48 mm dengan tebal 2.5 mm dengan kedalaman cacat 1.5 mm didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 1.1 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 1.4 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 48 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 1.1 mm.



Gambar 4. 20. Indikasi pada pipa Ø 48 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm.

Penelitian ini menggunakan pengujian ultrasonik probe normal kristal dua. Pada probe tersebut dibuatlah sepatu modifikasi dengan menggunakan akrilik agar probe mampu menjangkau bagian kampuh las pada material tersebut. Adapun hasil dari pengujian ultrasonik dengan menggunakan probe normal kristal dua pada pipa berdiameter 48 mm dengan tebal 2.5 mm dengan kedalaman cacat 2.0 mm

didapatkan hasil pendeteksian ketebalan sebesar 0.4 mm. Cacat yang dideteksi oleh *ultrasonic flaw detector* adalah sebesar 2.1 mm. Jadi sisa ketebalan material pipa baja karbon diameter 48 mm yang terdeteksi oleh *ultrasonic flaw detector* sebesar 0.4 mm.

4.4. Analisis Kemampuan Pembacaan *Ultrasonic Flaw Detector* dengan Arah Bidang Pemisah Kristal *Probe* yang Searah dengan Sumbu Las

Dari pengujian ultrasonik probe normal kristal dua dengan menggunakan sepatu probe modifikasi didapatkan hasil sisa ketebalan material pipa baja karbon seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4. 2. Hasil pengujian ultrasonik dengan arah bidang pemisah kristal *probe* tegak lurus dengan arah las.

N o	Diamete r Material Uji	Ketebala n Material	Sisa Ketebala n Material	Hasil Intepretas i Sisa Ketebalan Material	Tingkat Akurasi Pembacaa n	Rata- rata Tingkat Akurasi Per Diamete r
1.	160 mm	10.6 mm	10.1 mm	10.1 mm	100.00 %	99.61 %
2.			9.1 mm	9.1 mm	100.00 %	
3.			8.6 mm	8.7 mm	98.84 %	
4.	128 mm	9.6 mm	9.1 mm	9.2 mm	98.90 %	98.78 %
5			8.1 mm	8.2 mm	98.77 %	
6.			7.6 mm	7.5 mm	98.68 %	
7.	48 mm	2.5 mm	2.0 mm	2.2 mm	90.00 %	86.67 %
8.			1.0 mm	1.1 mm	90.00 %	
9.			0.5 mm	0.4 mm	80.00 %	

Berdasarkan tabel 4.2. pada pipa berdiameter 160 mm mempunyai tingkat akurasi pembacaan cacat 99.61%, pada pipa berdiamater 128 mm mempunyai tingkat akurasi pembacaan cacat 98.78% dan pada pipa berdiameter 48 mm mempunyai tingkat akurasi pembacaan 86.67%. Jadi semakin besar diameter pipa maka akan semakin bagus tingkat akurasi pembacaan cacatnya.

4.5. Analisis Kemampuan Pembacaan *Ultrasonic Flaw Detector* dengan Arah Bidang Pemisah Kristal *Probe* yang Searah dengan Sumbu Las dan Arah Bidang Pemisah Kristal *Probe* yang Tegak Lurus dengan Sumbu Las

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan, berikut ini adalah perbandingan kemampuan pembacaan *ultrasonic flaw detector* dengan variasi arah bidang pemisah kristal *probe* terhadap arah sumbu las :

Tabel 4. 3. Perbandingan kemampuan pembacaan pengujian ultrasonik dengan variasi arah bidang pemisah kristal *probe*.

No	Diameter Material Uji	Ketebalan Material	Sisa Ketebalan Material	Tingkat akurasi probe Tegak Lurus	Rata-rata Tingkat Akurasi Per Diameter	Tingkat akurasi probe Searah	Rata-rata Tingkat Akurasi Per Diameter
1.	160 mm	10.6 mm	10.1 mm	100.00 %	99.61 %	99.01 %	98.94 %
2.			9.1 mm	100.00 %		97.80 %	
3.			8.6 mm	98.84 %		100.00 %	
4.	128 mm	9.6 mm	9.1 mm	98.90 %	98.78 %	98.90 %	97.91 %
5.			8.1 mm	98.77 %		98.77 %	
6.			7.6 mm	98.68 %		96.05 %	
7.	48 mm	2.5 mm	2.0 mm	90.00 %	86.67 %	90.00 %	85.56 %
8.			1.0 mm	90.00 %		86.67 %	
9.			0.5 mm	80.00 %		80.00 %	

1. Berdasarkan hasil tingkat akurasi per diameter pada tabel 4.3. dapat dilihat bahwa semakin besar diameter pipa maka semakin bagus kemampuan pembacaan *ultrasonic flaw detector*.
2. Pembacaan *ultrasonic flaw detector* dengan arah bidang pemisah kristal *probe* yang tegak lurus dengan sumbu las mempunyai tingkat akurasi lebih baik dibandingkan dengan arah bidang pemisah kristal *probe* yang searah dengan sumbu las.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan percobaan yang dilakukan, penentuan sisa ketebalan material pada permukaan dalam pipa baja karbon dapat dilakukan dengan cara membuat sepatu probe modifikasi pada *ultrasonik flaw detector* probe normal kristal dua. Sisa ketebalan material pipa dapat diketahui dengan cara mengurangi ketebalan pipa dikurangi dengan kedalaman cacat korosi yang terdeteksi oleh alat *ultrasonik flaw detector*.
2. Berdasarkan dari hasil percobaan arah bidang pemisah kristal *probe* yang tegak lurus dengan sumbu las mempunyai kemampuan pendeteksian sisa ketebalan material pipa baja karbon yang lebih baik dibandingkan dengan arah bidang pemisah kristal *probe* yang searah dengan sumbu las. Hal ini dikarenakan gelombang ultrasonik memotong secara melintang pada cacat buatan sehingga cacat tersebut mudah memantulkan kembali gelombang ultrasonik untuk diterima kembali oleh *probe*.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini menggunakan metode pengujian tak merusak ultrasonik dengan *probe* yang telah dimodifikasi dalam pendeteksiannya. Untuk penelitian selanjutnya bisa dikaji lebih lanjut penentuan sisa ketebalan material pada pipa bagian dalam dengan menggunakan metode pengujian tak merusak yang lain.
2. Penelitian ini menggunakan metode pengujian ultrasonik dengan *probe* normal kristal dua yang telah dimodifikasi sepatunya. Untuk penelitian selanjutnya bisa dikaji lebih lanjut penentuan sisa ketebalan material pada pipa bagian dalam dengan menggunakan *probe* normal kristal tunggal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Metal Handbook. Vol. 13. (1993). *Corrosion*. USA: American Society of Metals (ASM).
- Berke, Michael. 1990. *Thickness Measurement with Ultrasonic*. New York: Springer-Verlag.
- Fontana, Mars G., 1987. *Corrosion engineering*. New York: M.Grow-Hill Book Company.
- Hellier, Charles., 2003. *Handbook of Non Destructive Evaluation*, New York: Mac Grow-Hill Companies Inc.
- Hendroprasetyo, W., 2013, *Training Hand Out – Ultrasonic Testing*, Surabaya.
- Smilie, Robert W. 1995. *Programmed Instruction Handbook Nondestructive Testing – Introduction*. South Harrisburg: PH Diversified, Inc.
- Susilo, Wasis Anggoro. (2009). Tugas Akhir “Analisa laju korosi dengan metode sel tiga elektroda pada duplex stainless steel 2205 akibat proses line heating”. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS.
- Trethewey, K. R. dan Chamberlain, J. (1991). *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Widharto S. (1987). *Korosi dan Pencegahannya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran A Biodata Penulis



Fardan Nozami Ajitama lahir pada tanggal 31 maret 1992 di Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penulis merupakan anak pertama dari Nuryanta dan Nurasiyah yang mulai mengenyam pendidikan di TK Pertiwi 27 kretek Lor. Pendidikan selanjutnya yaitu di SDN Asy-Syifa, Mts. Mu'allimin dan MA Mu'allimin Yogyakarta. Pada tahun 2010 penulis memulai kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Fakultas Teknologi Kelautan Jurusan Teknik Perkapalan.

Di kampus perjuangan saya aktif di Unit Kegiatan Mahasiswa Merpati Putih dan pada tahun 2012/2013 diamanahi untuk menjabat ketua. Selanjutnya pada tahun 2013/2014 saya diamanahi untuk menjabat koordinator bidang beladiri pada lembaga minat bakat ITS.

Halaman ini sengaja dikosongkan